



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 57 312 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 01 L 33/00**

⑳ Aktenzeichen: 199 57 312.3  
㉔ Anmeldetag: 29. 11. 1999  
㉕ Offenlegungstag: 6. 7. 2000

DE 199 57 312 A 1

③① Unionspriorität:  
10-338655 30. 11. 1998 JP  
10-338656 30. 11. 1998 JP  
11-336798 26. 11. 1999 JP  
  
⑦① Anmelder:  
Sharp K.K., Osaka, JP  
  
⑦④ Vertreter:  
Patentanwälte MÜLLER & HOFFMANN, 81667  
München

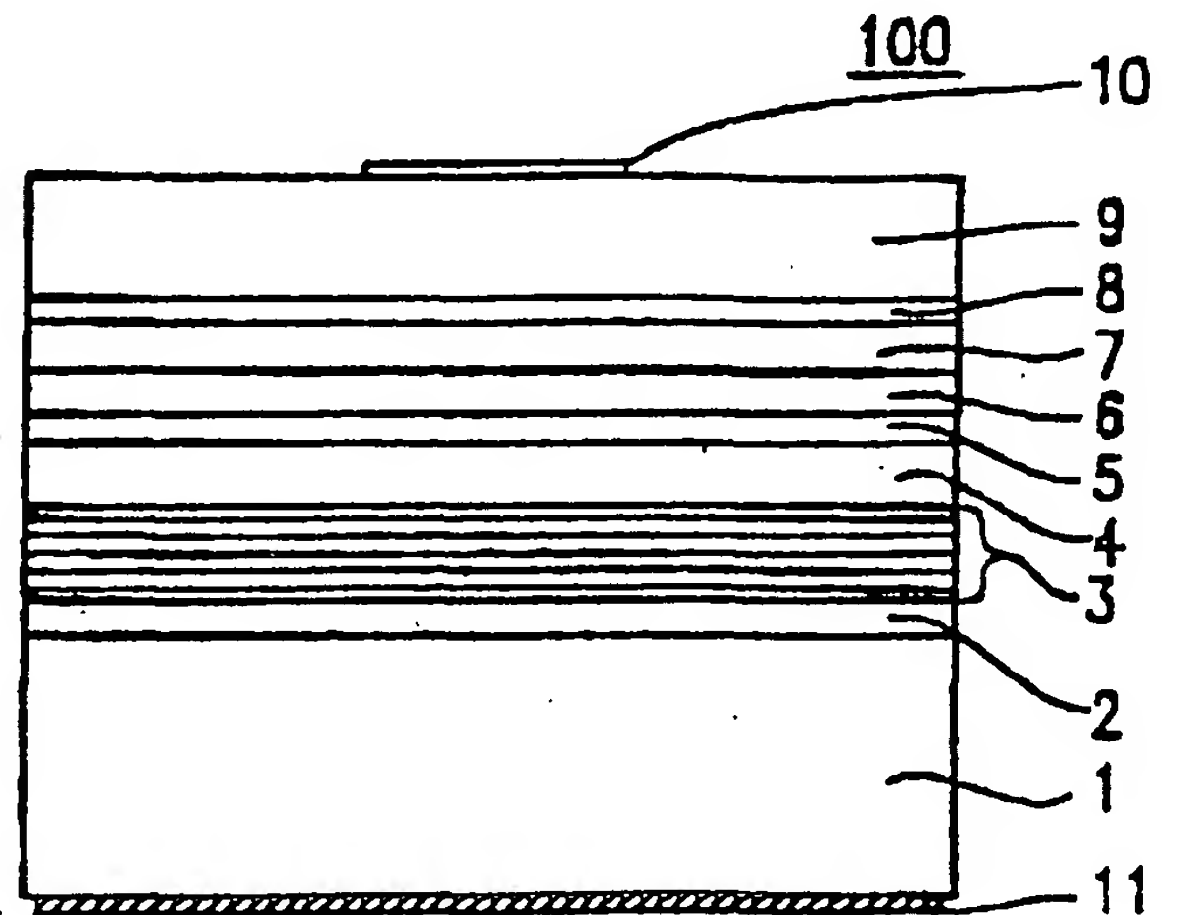
⑦② Erfinder:  
Nakatsu, Hiroshi, Tenri, Nara, JP; Murakami,  
Tetsuroh, Tenri, Nara, JP; Hosoba, Hiroyuki, Kyoto,  
JP; Kurahashi, Takahisa, Kashiba, Nara, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Licht emittierende Diode

⑤⑦ Eine Licht emittierende Diode ist mit Folgendem versehen: einem Substrat; einer Licht emittierenden Schicht; einer ersten Mantelschicht von erstem Leitungstyp und mit einer Energielücke, die größer als eine Energielücke der Licht emittierenden Schicht ist; einer zweiten Mantelschicht von zweitem Leitungstyp und mit einer Energielücke, die größer als eine Energielücke der Licht emittierenden Schicht ist; und einer Barriere-Zwischenschicht vom selben Leitungstyp wie dem der Licht emittierenden Schicht, jedoch mit anderem Leitungstyp als dem der ersten oder zweiten Mantelschicht und mit einer Energielücke, die kleiner als die Energielücke der ersten oder zweiten Mantelschicht, jedoch größer als die Energielücke der Licht emittierenden Schicht ist. Die Licht emittierende Diode weist Doppelheterostruktur dergestalt auf, dass die Licht emittierende Schicht zwischen die erste und zweite Mantelschicht eingebettet ist. Die Barriere-Zwischenschicht ist zwischen der Licht emittierenden Schicht und der ersten Mantelschicht und/oder zwischen der Licht emittierenden Schicht und der zweiten Mantelschicht angeordnet.



DE 199 57 312 A 1

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

## 1. GEBIET DER ERFINDUNG

Die Erfindung betrifft eine Licht emittierende Diode (nachfolgend als "LED" bezeichnet) mit Doppelheterostruktur. Genauer gesagt, betrifft die Erfindung eine Technik zum Verhindern einer Verringerung der Lichtausgangsleistung einer LED bei Langzeitbetrieb.

## 2. BESCHREIBUNG DER EINSCHLÄGIGEN TECHNIK

Eine LED mit sogenannter Doppelheterostruktur verfügt über einen hohen Lichtemissions-Wirkungsgrad und hohe Lichtausgangsleistung und wird daher in weitem Umfang für Displays, Lichtquellen für optische Kommunikation oder dergleichen verwendet.

Fig. 12 ist eine Schnittansicht zum Veranschaulichen einer herkömmlichen LED 800 mit typischer Doppelheterostruktur. Die LED 800 ist eine LED auf InGaAlP-Basis, die Schichten mit Gitteranpassung an ein GaAs-Substrat enthält und Licht im Bereich von rotem Licht bis zu grünem Licht emittiert. In der LED 800 sind:

- ein Substrat 1 aus n-GaAs;
- eine erste Pufferschicht 2 aus n-GaAs;
- eine Lichtreflexions(DBR: Distributed Bragg Reflector = verteilter Braggreflektor)schicht 3 mit abwechselnd abgeschiedenen n-(Al<sub>0,4</sub>Ga<sub>0,6</sub>)<sub>0,5</sub>In<sub>0,5</sub>P-Schichten und n-Al<sub>0,5</sub>In<sub>0,5</sub>P-Schichten;
- eine erste Mantelschicht 4 aus n-Al<sub>0,5</sub>In<sub>0,5</sub>P, dotiert mit Si mit einer Fremdstoffkonzentration von  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , 1 µm dick;
- eine Licht emittierende Schicht 6 aus p-(Ga<sub>0,7</sub>Al<sub>0,3</sub>)<sub>0,5</sub>In<sub>0,5</sub>P, 0,5 µm dick;
- eine zweite Mantelschicht 7 aus p-Al<sub>0,5</sub>In<sub>0,5</sub>P, dotiert mit Zn mit einer Fremdstoffkonzentration von  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , 1 µm dick;
- eine erste Stromverteilschicht 91 aus p-Al<sub>0,7</sub>Ga<sub>0,3</sub>As, dotiert mit Zn mit einer Fremdstoffkonzentration von  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , 1 µm dick; und
- eine zweite Stromverteilschicht 92 aus p-Al<sub>0,7</sub>Ga<sub>0,3</sub>As, dotiert mit Zn mit einer Fremdstoffkonzentration von  $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , 6 µm dick;

in dieser Reihenfolge abgeschieden.

Die erste und die zweite Stromverteilschicht 91 und 92 bilden eine Stromverteilschicht 9.

Auf der Unterseite des Substrats 1 wird durch ein typisches Abscheidungsverfahren ein Film aus AuGe als n-seitige Elektrode 11 hergestellt. Auf der Oberseite der p-Stromverteilschicht 9 wird durch dasselbe Abscheidungsverfahren ein Film aus AuZn hergestellt. Dieser AuZn-Film wird einer Strukturierung durch Photolithographie unterzogen, um einen kreisförmigen Teil desselben als p-seitige Elektrode 10 zu belassen, an der ein Metalldraht angebunden wird, um die p-seitige Elektrode 10 mit einem externen Leiter zu verbinden. In der Lichtemissionsschicht 6 erzeugtes Licht wird von einem Teil der Oberfläche der p-Stromverteilschicht 9 abgestrahlt, von der der AuZn-Film entfernt wurde.

Die erste Pufferschicht 2 wird dazu verwendet, zu verhindern, dass Defekte und Verunreinigungen des Substrats 1 die auf ihm abgeschiedenen Schichten beeinflussen. Die erste Pufferschicht 2 ist nicht erforderlich, wenn das Substrat 1 eine zufriedenstellend behandelte Oberfläche aufweist. Die DBR-Schicht 3 reflektiert Licht, das in die Licht emittieren-

den Schicht 6 zum Substrat 1 hin erzeugt wird. Dies verhindert Lichtabsorption durch das Substrat 1, und das reflektierte Licht läuft in einer Richtung vom Substrat 1 weg, um zur Helligkeit der LED 800 beizutragen.

Die Stromverteilschicht 9 verfügt über niedrigen spezifischen Widerstand, um geeigneten ohmschen Kontakt zur p-seitigen Elektrode 10 herzustellen und um auch einen von der p-seitigen Elektrode 10 injizierten Strom in die gesamte Licht emittierende Schicht 6 zu verteilen. Daher benötigt die Stromverteilschicht 9 einen hohen Fremdstoff-Konzentrationsgrad. In diesem Fall ist im unteren Teil der Stromverteilschicht 9 die erste Stromverteilschicht 91 mit niedriger Fremdstoffkonzentration vorhanden, um zu verhindern, dass der Fremdstoff Zn in die Licht emittierende Schicht 6 diffundiert.

Um einen hohen Lichtemissions-Wirkungsgrad zu erzielen, verwendet eine herkömmliche LED eine Doppelheterostruktur, wie sie in Fig. 15 dargestellt ist. Fig. 15 ist eine Schnittansicht zum Veranschaulichen eines Beispiels einer LED 900 auf AlGaInP-Basis, die Gitteranpassung an ein GaAs-Substrat 101 aufweist. Der Aufbau jeder Schicht in der LED 900 ist der Folgende:

- ein Substrat 101 aus n-GaAs;
- eine Pufferschicht 102 aus n-GaAs;
- eine erste n-Mantelschicht 103 aus n-(Ga<sub>0,3</sub>Al<sub>0,7</sub>)<sub>0,5</sub>In<sub>0,5</sub>P, dotiert mit Si mit einer Fremdstoffkonzentration von  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , 1 µm dick;
- eine Licht emittierende Schicht 104 aus p-(Ga<sub>0,7</sub>Al<sub>0,3</sub>)<sub>0,5</sub>In<sub>0,5</sub>P, 0,5 µm dick;
- eine zweite p-Mantelschicht 105 aus p-Al<sub>0,5</sub>In<sub>0,5</sub>P, dotiert mit Zn mit einer Fremdstoffkonzentration von  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , 1 µm dick;
- eine erste Stromverteilschicht 61 aus p-Ga<sub>0,3</sub>Al<sub>0,7</sub>As, dotiert mit Zn mit einer Fremdstoffkonzentration von  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , 1 µm dick;
- eine zweite Stromverteilschicht 62 aus p-Ga<sub>0,3</sub>Al<sub>0,7</sub>As, dotiert mit Zn mit einer Fremdstoffkonzentration von  $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , 6 µm dick; und
- eine Kontaktschicht 108 aus p-GaAs.

Auf dem Substrat 1 und der Kontaktschicht 108 sind eine n-seitige Elektrode 109 bzw. eine p-seitige Elektrode 107 vorhanden.

Die LED 800 auf AlGaInP-Basis in der Fig. 12 erzeugt Licht durch Injizieren eines Stroms. In Fig. 13 kennzeichnet eine gestrichelte Linie A die Beziehung zwischen der Fremdstoffkonzentration der Licht emittierenden Schicht 6 und der Lichtausgangsleistung in einer Anfangsperiode nach dem Beginn der Lichtemission. Der Spitzenwert der Lichtausgangsleistung liegt in der Anfangsperiode nach Beginn der Lichtemission bei einer Fremdstoffkonzentration von  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ . Jedoch nimmt die Lichtausgangsleistung im Verlauf der Zeit allmählich ab. Zum Beispiel wird der LED 800 ein Strom von 50 mA für 1000 Stunden bei Raumtemperatur zugeführt. In Fig. 13 zeigt eine gestrichelte Linie B die Beziehung zwischen der Fremdstoffkonzentration der Licht emittierenden Schicht 6 und der Lichtausgangsleistung nach Lichtemission über 1000 Stunden. Die Lichtausgangsleistung nach Lichtemission über 1000 Stunden wird bei einer Fremdstoffkonzentration von  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  niedriger, während die Lichtausgangsleistung bei einer Fremdstoffkonzentration von  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  höher wird, wo die Lichtausgangsleistung maximal ist, was von der Anfangsperiode nach Beginn der Lichtemission verschieden ist.

Durch unsere Untersuchungen haben wir herausgefunden, dass eine derartige Änderung der Lichtausgangsleistung nach langzeitiger Lichtemission durch Folgendes her-

vorgerufen wird: (1) ein nichtstrahlendes Rekombinationszentrum, das an einer Grenzfläche eines pn-Übergangs zwischen der ersten n-Mantelschicht 4 und der Licht emittierenden p-Schicht 6 erzeugt wird; und (2) einen Einfluss von Fremdstoffen, die in die Licht emittierende Schicht 6 diffundiert sind.

Die Fig. 14A und 14B veranschaulichen Zustände von Energiebändern, um die Licht emittierende Schicht 6 herum. Fig. 14A zeigt einen Zustand in der Anfangsperiode nach Beginn der Lichtemission, während Fig. 14B einen Zustand

nach langzeitiger Lichtemission zeigt. Die Grenzfläche 40 des pn-Übergangs ist eine Heterogrenzfläche, an der zwei Schichten mit stark voneinander verschiedenen Energielücken, wie in Fig. 14A dargestellt, in Kontakt miteinander stehen. An der Heterogrenzfläche 40 existieren starke interne Spannungen. Wenn zwischen die p-seitige Elektrode 10 und die n-seitige Elektrode 11 eine Spannung zum Erzeugen von Licht angelegt wird, liegt über die Heterogrenzfläche 40 hinweg ein starkes elektrisches Feld vor.

Die Kombination aus den internen Spannungen und der Energie des in der Licht emittierenden Schicht 6 erzeugten Lichts ruft in der Heterogrenzfläche 40 einen Gitterdefekt hervor. Dieser Gitterdefekt wächst bei langzeitiger Lichtemission entlang der Richtung einer elektrischen Feldlinie in die Licht emittierende Schicht 6. Der Gitterdefekt führt aus Ausbildung eines tiefen Energieniveaus 20 in der Nähe der Heterogrenzfläche 40, wie es in Fig. 14B dargestellt ist. Die Ladungsträger, ein Loch und ein Elektron, kombinieren ohne Lichtemission im tiefen Energieniveau miteinander. Ein derartiges tiefes Energieniveau wird als nichtstrahlendes Energieniveau bezeichnet. Da strahlende Rekombination 30 der LED 800 ein spontaner Emissionsprozess ist, hat die nichtstrahlende Rekombination 31 auf dem nichtstrahlenden Energieniveau 20 kürzere Lebensdauer als die strahlende Rekombination 30. Daher fällt der Lichtemissions-Wirkungsgrad der LED 800, wenn die Anzahl von Ladungsträgern zunimmt, die auf dem nichtstrahlenden Energieniveau 20 kombinieren.

Bei langzeitiger Lichtemission wird dauernd das Wachstum des Gitterdefekt verursacht, der sich bis weit in die Licht emittierende Schicht 6 ausbreitet. Anders gesagt, entwickelt die Licht emittierende Schicht 6 viele Abschnitte mit nichtstrahlendem Energieniveau 20. Daher fällt der Lichtemissions-Wirkungsgrad der LED 800 weiter, d. h., die Lichtausgangsleistung der LED 800 fällt im Vergleich zur Anfangsperiode der Lichtemissions.

Die japanische Offenlegungsveröffentlichung Nr. 2-151085 offenbart ein Licht emittierendes Halbleiterbauteil (nachfolgend als "LED des herkömmlichen Beispiels 2" bezeichnet) mit einer Struktur ähnlich derjenigen, die in Fig. 12 dargestellt ist. Die LED des herkömmlichen Beispiels 2 beinhaltet Mantel-Zwischenschichten, die zwischen die Licht emittierende Schicht 6 und die erste und die zweite Mantelschicht 4 und 7 eingefügt sind. Die Mantel-Zwischenschichten verfügen jeweils über eine Dicke von mehr als ungefähr 10 Å und weniger als ungefähr 200 Å und eine Energielücke mit einem Wert zwischen denen der Licht emittierenden Schicht 6 und der ersten und zweiten Mantelschicht 4 und 7. Bei der LED des herkömmlichen Beispiels 2 sind zwischen der Mantel-Zwischenschicht und der ersten und zweiten Mantelschicht 4 und 7 sowie zwischen der Mantel-Zwischenschicht und der Licht emittierenden Schicht 6 Heterogrenzflächen ausgebildet. Demgemäß können die Differenzen in einer Energielücke an den Grenzflächen verringert werden, um dadurch die internen Spannungen zu verringern. Dies erzeugt demgemäß eine Schwierigkeit für das Erzeugen eines Gitterdefekts, und so existieren

in der Licht emittierenden Schicht 6 weniger nichtstrahlende Rekombinationszentren.

Bei der LED des herkömmlichen Beispiels 2 ist jedoch an der Grenzfläche zwischen der Licht emittierenden Schicht 6 und der Zwischenschicht ein pn-Übergang ausgebildet. An der Grenzfläche, an der ein hohes elektrisches Feldniveau existiert, wird ein Gittereffekt durch Lichtemission erzeugt. Obwohl eine Verringerung der Lichtausgangsleistung der LED des herkömmlichen Beispiels 2 wirkungsvoll verzögert ist, ermöglicht langzeitige Lichtemission die Entwicklung eines Gitterdefekts, der an der Grenzfläche erzeugt wird. Das Wachstum des Gitterdefekts verringert die Lichtausgangsleistung der Licht emittierenden Schicht 6.

Wie es in Fig. 13 beschrieben ist, weist eine Licht emittierende Schicht mit höherer Fremdstoffkonzentration nach langzeitiger Lichtemission höhere Lichtausgangsleistung auf. Dieser Effekt wird nun beschrieben. Wenn die Licht emittierende Schicht 6 höhere Fremdstoffkonzentration aufweist, als es der optimalen Konzentration entspricht, wird der spezifische Widerstand der Licht emittierenden Schicht 6 niedrig. Daher wird ein an der Grenzfläche des pn-Übergangs zwischen der ersten Mantelschicht 4 und der Licht emittierenden Schicht 6 angelegtes elektrisches Feld hinsichtlich der Stärke klein, was zu niedriger Lichtausgangsleistung in einer Anfangsperiode nach Beginn der Lichtemission führt. Nach langzeitiger Lichtemission sind wegen des elektrischen Felds und der Wärme, wie sie in der Nähe der Licht emittierenden Schicht 6 erzeugt wird, zusätzliche Fremdstoffe in die Licht emittierende Schicht 6 diffundiert. Die Diffusion von Fremdstoffen erhöht das elektrische Feld und damit die Lichtausgangsleistung. In diesem Fall wird ebenfalls an der Grenzfläche des pn-Übergangs ein Defekt erzeugt, weswegen der Lichtemissions-Wirkungsgrad nach langzeitiger Lichtemission fällt.

Bei der in Fig. 15 dargestellten LED 900 ist die Pufferschicht 102 dazu verwendet, den Einfluss von Defekten und Verunreinigen des Substrats 101 abzuschirmen. Die Pufferschicht 102 ist nicht erforderlich, wenn die Oberflächenbehandlung des Substrats 101 zufriedenstellend ist. Die Kontaktschicht 108 besteht aus GaAs, das kein Al enthält, um ohmschen Kontakt zur p-seitigen Elektrode 107 zu erleichtern. Die Kontaktschicht 108 erlaubt es nicht, dass von der Licht emittierenden Schicht 104 erzeugtes Licht durch sie hindurchläuft. Jedoch ist die Kontaktschicht 108 unmittelbar unter der Elektrode 107 vorhanden, wodurch sie der Lichtabstrahlung keinen Nachteil zufügt.

Bei der in Fig. 15 dargestellten LED 900 sind die Energielücken der Licht emittierenden Schicht 104 und der ersten und der zweiten Mantelschicht 103 und 105 durch den Molenbruch von Al eingestellt. Die Gitterkonstante eines II-V-Verbindungshalbleiters ist beinahe nicht variierbar, wenn Al durch Ga ersetzt wird, oder umgekehrt. Je größer der Molenbruch des enthaltenen Al ist, umso größer die Energielücke des Verbindungshalbleiters. Nachfolgend wird der Anteil von Al innerhalb der Gesamtmenge von Al und Ga in einem Mischkristall als Molenbruch von Al im Mischkristall angesehen.

Um hohe Lichtausgangsleistung der LED 900 zu erzielen, ist es erforderlich, Ladungsträger innerhalb der Licht emittierenden Schicht 104 dadurch in zufriedenstellender Weise einzugrenzen, dass Differenzen zwischen den Energielücken der Licht emittierenden Schicht 104 und der ersten und zweiten Mantelschicht 103 und 105 ausreichend groß gemacht werden. Die LED 900 verfügt über Doppelheterostruktur, bei der die Licht emittierende Schicht 104 aus  $(\text{Ga}_{0,7}\text{Al}_{0,3})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  zwischen die erste Mantelschicht 103 aus  $n\text{-(Ga}_{0,3}\text{Al}_{0,7})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  und die zweite Mantelschicht 105 aus  $p\text{-(Ga}_{0,3}\text{Al}_{0,7})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$ , die große Energielücken aufwei-



sen, eingefügt ist. Der Molenbruch von Al der Licht emittierenden Schicht 104 beträgt 0,3, während die Molenbrüche von Al sowohl der ersten und zweiten Mantelschicht 103 und 105 den Wert 0,7 haben.

Um hohe Lichtausgangsleistung der LED 900 zu erzielen, ist Diffusion von von der Elektrode 107 injizierten Ladungsträgern in die gesamte Licht emittierende Schicht 104 erforderlich. Zu diesem Zweck ist eine Senkung des spezifischen Widerstands der Stromverteilschicht 106 durch Erhöhen der Fremdstoffkonzentration derselben auf ein ausreichend hohes Niveau erforderlich. Das Substrat 101 besteht typischerweise aus einem n-Halbleiter, so dass für die Stromverteilschicht 106 ein p-Halbleiter verwendet wird. Jedoch besteht die Wahrscheinlichkeit, dass ein Fremdstoff für den p-Halbleiter, wie Zn oder Mg, diffundiert. Die Grenzfläche zwischen den Schichten mit stark voneinander verschiedenen Fremdstoffkonzentrationen weist einen hohen Gradienten der Fremdstoffkonzentration auf. Daher besteht an der Grenzfläche die Wahrscheinlichkeit, dass der Fremdstoff wegen der Wechselwirkung der elektrischen Energie mit der durch die Licht emittierende Schicht 104 erzeugten Lichtenergie diffundiert.

Zum Beispiel zeigen die Stromverteilschicht 106 und die zweite p-Mantelschicht 105, wie auch diese und die Licht emittierende Schicht 104 die oben beschriebene wechselseitige Beziehung. Daher besteht die Wahrscheinlichkeit, dass zwischen der Stromverteilschicht 106 und der zweiten p-Mantelschicht 105 sowie zwischen dieser und der Licht emittierenden Schicht 104 Fremdstoffdiffusion auftritt.

Selbst wenn die Licht emittierende Schicht 104 anfangs die optimale Konzentration des p-Fremdstoffs aufweist, ändert sich die Konzentration wegen der Diffusion des Fremdstoffs, und daher fällt der Lichtemissions-Wirkungsgrad der Licht emittierenden Schicht 104. Ferner ist es unwahrscheinlich, dass sich der durch Diffusion in die Licht emittierende Schicht 104 eintretende Fremdstoff an einer normalen Gitterposition niederlässt, wodurch er zu einem nichtstrahlenden Rekombinationszentrum mit tiefem Energieniveau wird.

Bei der in Fig. 15 dargestellten herkömmlichen LED 900 enthält die Stromverteilschicht 106 zwei Schichten. Die untere Schicht ist eine erste Stromverteilschicht 61 mit niedriger Fremdstoffkonzentration. Daher erhält der Fremdstoffkonzentrationsgradient zwischen der Licht emittierenden Schicht 104 und der ersten Stromverteilschicht 61 einen niedrigen Wert, wodurch Diffusion von Zn verhindert ist. Die erste Stromverteilschicht 61 und die zweite Stromverteilschicht 62 haben denselben Molenbruch von Al.

Herkömmlicherweise betragen die Molenbrüche von Al in der ersten und zweiten Mantelschicht 103 und 105 ungefähr 0,7. Die Erfinder haben herausgefunden, dass die oben beschriebene herkömmliche Technik unzureichend ist, um Fremdstoffdiffusion zu verhindern, wenn die Molenbrüche von Al in der ersten und zweiten Mantelschicht 103 und 105 auf ungefähr 1,0 erhöht werden, um die Eingrenzung von Ladungsträgern zu verbessern und eine höhere Lichtausgangsleistung der LED 900 zu erzielen. Anders gesagt, ist die oben beschriebene Diffusion des p-Fremdstoffs wesentlich, wenn der Al-Molenbruch groß ist.

#### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Eine erfindungsgemäße Licht emittierende Diode ist mit Folgendem versehen: einem Substrat; einer Licht emittierenden Schicht; einer ersten Mantelschicht von erstem Leitungstyp und mit einer Energielücke, die größer als eine Energielücke der Licht emittierenden Schicht ist; einer zweiten Mantelschicht von zweitem Leitungstyp und mit ei-

ner Energielücke, die größer als eine Energielücke der Licht emittierenden Schicht ist; und einer Barriere-Zwischenschicht vom selben Leitungstyp wie dem der Licht emittierenden Schicht, jedoch mit anderem Leitungstyp als die erste oder zweite Mantelschicht und mit einer Energielücke, die kleiner als die Energielücke der ersten oder zweiten Mantelschicht, jedoch größer als die Energielücke der Licht emittierenden Schicht ist. Die Licht emittierende Diode weist Doppelheterostruktur dergestalt auf, dass die Licht emittierende Schicht zwischen die erste und zweite Mantelschicht eingebettet ist. Die Barriere-Zwischenschicht ist zwischen der Licht emittierenden Schicht und der ersten Mantelschicht und/oder zwischen der Licht emittierenden Schicht und der zweiten Mantelschicht angeordnet.

Daher ist verhindert, dass ein an einem pn-Übergang erzeugter Kristalldefekt eine Licht emittierende Schicht beeinflusst, wodurch eine LED realisiert ist, bei der eine Verringerung der Lichtausgangsleistung selbst nach langzeitiger Lichtemission verhindert ist.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist die Dicke der Barriere-Zwischenschicht kleiner als die Diffusionslänge eines Minoritätsladungsträger in der Barriere-Zwischenschicht und größer als ein Wert, so dass ein an der Grenzfläche zwischen der Barriere-Zwischenschicht und der ersten oder zweiten Mantelschicht erzeugtes nichtstrahlendes Rekombinationszentrum im Wesentlichen keinen Einfluss auf die Licht emittierende Schicht ausübt.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung liegt die Dicke der Barriere-Zwischenschicht im Bereich von 0,1 µm oder mehr und 0,5 µm oder weniger.

Daher ist verhindert, dass ein an einem pn-Übergang erzeugter Kristalldefekt eine Licht emittierende Schicht beeinflusst, so dass eine Verringerung des Lichtemissions-Wirkungsgrads verhindert ist, um dadurch eine LED zu realisieren, bei der eine Verringerung der Lichtausgangsleistung selbst nach langzeitiger Lichtemission verhindert ist.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist die Energielücke der Barriere-Zwischenschicht um 0,2 eV oder mehr größer als die Energielücke der Licht emittierenden Schicht.

Daher ist nichtstrahlende Rekombination in der Barriere-Zwischenschicht weiter verringert, um dadurch eine LED mit hohem Lichtemissions-Wirkungsgrad zu realisieren.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist die Barriere-Zwischenschicht eine Schicht aus einem Halbleiter mit indirektem Übergang mit langer Lebensdauer für nichtstrahlende Rekombination.

Daher ist nichtstrahlende Rekombination in der Barriere-Zwischenschicht im Wesentlichen beseitigt, um dadurch eine LED mit hohem Lichtemissions-Wirkungsgrad zu realisieren.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung beinhaltet die Barriere-Zwischenschicht eine erste und eine zweite Barriere-Zwischenschicht. Die erste Barriere-Zwischenschicht ist zwischen der Licht emittierenden Schicht und der ersten Mantelschicht vorhanden. Die zweite Barriere-Zwischenschicht ist zwischen der Licht emittierenden Schicht und der zweiten Mantelschicht vorhanden. Die erste Barriere-Zwischenschicht weist denselben Leitungstyp wie die Licht emittierende Schicht, jedoch einen anderen Leitungstyp als dem der ersten, an die erste Barriere-Zwischenschicht angrenzenden Mantelschicht auf, und sie weist eine Energielücke auf, die kleiner als diejenige der ersten Mantelschicht, jedoch größer als diejenige der Licht emittierenden Schicht ist. Die zweite Barriere-Zwischenschicht weist denselben Leitungstyp wie den der Licht emittierenden Schicht und den Leitungstyp der zweiten, an die zweite Barriere-Zwischenschicht angrenzenden Mantelschicht auf, und sie weist eine Energielücke auf, die kleiner als diejenige der zweiten

Mantelschicht, jedoch größer als diejenige der Licht emittierenden Schicht ist.

Daher ist verhindert, dass ein an einem pn-Übergang erzeugter Kristalldefekt eine Licht emittierende Schicht beeinflusst, so dass eine Verringerung des Lichtemissions-Wirkungsgrads verhindert ist. Ferner ist verhindert, dass ein p-Fremdstoff, der die Tendenz leichter Diffusion zeigt, in die Licht emittierende Schicht diffundiert, um dadurch eine Verringerung des Lichtemissions-Wirkungsgrads zu verhindern.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung besteht das Substrat aus GaAs; die erste Mantelschicht aus  $(\text{Ga}_{1-x_2}\text{Al}_{x_2})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  ( $x_1 < x_2 \leq 1$ ); die Licht emittierende Schicht aus  $(\text{Ga}_{1-x_1}\text{Al}_{x_1})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  ( $0 \leq x_1 < 1$ ); die Barriere-Zwischenschicht aus  $(\text{Ga}_{1-x_4}\text{Al}_{x_4})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  ( $x_1 < x_4 < x_2, x_3$ ); und die zweite Mantelschicht aus  $(\text{Ga}_{1-x_3}\text{Al}_{x_3})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  ( $x_1 < x_3 \leq 1$ ).

Daher ist die Lichtausgangsleistung im Spektrum von rotem Licht bis zu grünem Licht selbst nach langzeitiger Lichtemission verringert.

Gemäß einer anderen Erscheinungsform der Erfindung ist eine Licht emittierende Diode mit Folgendem versehen: einem Substrat; einer Licht emittierenden Schicht; einer p-Mantelschicht mit einer Energielücke, die größer als eine Energielücke der Licht emittierenden Schicht ist; und einer n-Mantelschicht mit einer Energielücke, die größer als diejenige der Licht emittierenden Schicht ist. Die Licht emittierende Diode besteht aus mindestens einem III-V-Verbindungshalbleitermaterial und verfügt über Doppelheterostruktur in solcher Weise, dass die Licht emittierende Schicht zwischen die p- und die n-Mantelschicht eingefügt ist. Die p-Mantelschicht beinhaltet eine zweite p-Barriere-Zwischenschicht und eine zweite p-Mantelschicht. Die zweite p-Barriere-Zwischenschicht liegt näher an der Licht emittierenden Schicht als die zweite p-Mantelschicht. Die zweite p-Barriere-Zwischenschicht verfügt über einen niedrigeren Al-Molenbruch und niedrigere Fremdstoffkonzentration, als es dem Al-Molenbruch bzw. der Fremdstoffkonzentration der zweiten p-Mantelschicht entspricht.

Daher ist selbst dann, wenn die LED eine LED hoher Intensität ist, die eine Mantelschicht mit hohem Al-Molenbruch enthält, verhindert, dass ein p-Fremdstoff, der die Tendenz leichter Diffusion zeigt, von der Stromverteilschicht oder der zweiten p-Mantelschicht in die Licht emittierende Schicht diffundiert, und zwar selbst nach langzeitiger Lichtemission, um dadurch eine Verringerung des Lichtemissions-Wirkungsgrads zu verhindern.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung beträgt der Al-Molenbruch der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht 0,5 oder weniger, und der Al-Molenbruch der zweiten p-Mantelschicht beträgt 0,7 oder mehr.

Daher wird die Kristallinität der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht in zufriedenstellender Weise aufrechterhalten, was es ermöglicht, die Diffusion eines Fremdstoffs zu verhindern.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung beträgt die Fremdstoffkonzentration der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht  $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  oder weniger. Die Dicke der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht liegt im Bereich von  $0,1 \mu\text{m}$  oder mehr und  $0,5 \mu\text{m}$  oder weniger.

Daher behält die zweite p-Barriere-Zwischenschicht selbst dann, wenn die LED diese zweite p-Barriere-Zwischenschicht enthält, einen Ladungsträger-Eingrenzungseffekt, um dadurch hohe Lichtausgangsleistung zu realisieren und es zu ermöglichen, eine Charakteristik der LED bei hoher Temperatur aufrecht zu erhalten. Ferner weist die zweite p-Mantelschicht niedrige Fremdstoffkonzentration auf und absorbiert daher eindringende Fremdstoffe, um zu verhindern,

dass sie in die Licht emittierende Schicht diffundieren.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung besteht das Substrat aus GaAs; die erste n-Mantelschicht aus  $(\text{Ga}_{1-x_2}\text{Al}_{x_2})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  ( $x_1 < x_2 \leq 1$ ); die Licht emittierende Schicht aus  $(\text{Ga}_{1-x_1}\text{Al}_{x_1})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  ( $0 \leq x_1 < x_2, x_3$ ); die zweite p-Barriere-Zwischenschicht aus  $(\text{Ga}_{1-x_4}\text{Al}_{x_4})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  ( $x_1 < x_4 < x_3$ , Fremdstoffkonzentration von weniger als  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ); und die zweite p-Mantelschicht aus  $(\text{Ga}_{1-x_3}\text{Al}_{x_3})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  ( $x_1 < x_3 \leq 1$ , Fremdstoffkonzentration von  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  oder mehr).

Daher ist selbst dann, wenn die LED für lange Zeit Licht im Spektrum von rotem Licht bis zu grünem Licht mit hoher Intensität emittiert, verhindert, dass ein p-Fremdstoff, der die Tendenz leichten Diffundierens zeigt, daran gehindert ist, von der Stromverteilschicht oder der zweiten p-Mantelschicht in die Licht emittierende Schicht zu diffundieren, um dadurch eine Verringerung der Lichtausgangsleistung zu verhindern.

Demgemäß ermöglicht die hier beschriebene Erfindung die folgenden Vorteile: (1) Anbringen einer Barriere-Zwischenschicht zum Verhindern, dass ein an der Grenzfläche eines pn-Übergangs erzeugter Defekt in eine Licht emittierende Schicht eindringt; (2) zufriedenstellendes Eingrenzen von Ladungsträgern durch Erhöhen des Molenbruchs von Al in einer zweiten p-Mantelschicht; und daher (3) Erzeugen einer LED mit hohem Zuverlässigkeitsgrad, bei der eine Verringerung der Lichtausgangsleistung nach langzeitiger Lichtemission verhindert ist.

Diese und andere Vorteile der Erfindung werden dem Fachmann beim Lesen und Verstehen der folgenden detaillierten Beschreibung unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren ersichtlich.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Fig. 1 ist eine Schnittansicht zum Veranschaulichen einer LED gemäß einem Beispiel 1 der Erfindung.

Fig. 2A und 2B sind Diagramme zum Veranschaulichen des Zustands von Energiebändern in der Nähe einer Licht emittierenden Schicht der LED des Beispiels 1 in einer Anfangsperiode der Lichtemission bzw. nach langzeitiger Lichtemission.

Fig. 3 ist eine Schnittansicht zum Veranschaulichen einer LED gemäß einem Beispiel 2 der Erfindung.

Fig. 4 ist ein Diagramm zum Veranschaulichen des Zustands von Energiebändern in der Nähe einer Licht emittierenden Schicht der LED des Beispiels 2 nach langzeitiger Lichtemission.

Fig. 5 ist eine Schnittansicht zum Veranschaulichen einer LED gemäß einem Beispiel 3 der Erfindung.

Fig. 6 ist ein Diagramm zum Veranschaulichen des Zustands von Energiebändern in der Nähe einer Licht emittierenden Schicht der LED des Beispiels 3 nach langzeitiger Lichtemission.

Fig. 7 ist eine Schnittansicht zum Veranschaulichen einer LED gemäß einem Beispiel 4 der Erfindung.

Fig. 8 ist eine Schnittansicht zum Veranschaulichen einer LED gemäß einem Beispiel 5 der Erfindung.

Fig. 9 ist eine Schnittansicht zum Veranschaulichen einer LED gemäß einem Beispiel 6 der Erfindung.

Fig. 10A und 10B sind Kurvenbilder zum Veranschaulichen von Beziehungen zwischen der Abnahme der Lichtausgangsleistung nach langzeitiger Lichtemission und der Fremdstoffkonzentration bzw. der Dicke einer zweiten p-Barrierezwischenschicht der LED des Beispiels 6.

Fig. 11 ist eine Schnittansicht zum Veranschaulichen einer LED gemäß einem Beispiel 7 der Erfindung.

Fig. 12 ist eine Schnittansicht zum Veranschaulichen ei-



ner herkömmlichen LED.

Fig. 13 ist ein Kurvenbild zum Veranschaulichen von Beziehungen zwischen der Fremdstoffkonzentration einer Licht emittierenden Schicht und der Lichtausgangsleistung unmittelbar nach dem Beginn der Lichtemission und der Lichtausgangsleistung nach langzeitiger Lichtemission bei der in Fig. 12 dargestellten herkömmlichen LED.

Fig. 14A und 14B sind Diagramme zum Veranschaulichen des Zustands von Energiebändern in der Nähe einer Licht emittierenden Schicht der in Fig. 12 dargestellten herkömmlichen LED.

Fig. 15 ist eine Schnittansicht zum Veranschaulichen einer anderen herkömmlichen LED.

#### BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die beigelegten Zeichnungen beschrieben.

##### (Beispiel 1)

Fig. 1 ist eine Schnittansicht zum Veranschaulichen des Aufbaus einer LED 100 gemäß einem Beispiel 1 der Erfindung. Der Einfachheit halber sind Komponenten mit denselben Funktionen wie denen der LED 800 mit denselben Bezugszahlen gekennzeichnet, wie sie dort verwendet sind. Die LED 100 beinhaltet Folgendes:

- ein Substrat 1 aus GaAs;
- eine erste Mantelschicht 4 aus  $(\text{Ga}_{1-x_2}\text{Al}_{x_2})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  ( $x_1 < x_2 \leq 1$ );
- eine Licht emittierende Schicht 6 aus  $(\text{Ga}_{1-x_1}\text{Al}_{x_1})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  ( $0 \leq x_1 < 1$ );
- eine Barriere-Zwischenschicht 5 aus  $(\text{Ga}_{1-x_4}\text{Al}_{x_4})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  ( $x_1 < x_4 < x_2, x_3$ ); und
- eine zweite Mantelschicht 7 aus  $(\text{Ga}_{1-x_3}\text{Al}_{x_3})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  ( $x_1 < x_3 \leq 1$ ).

Mit diesem Aufbau kann eine LED in solcher Weise erhalten werden, dass die Lichtausgangsleistung derselben im Spektrum von rotem Licht bis zu grünem Licht selbst nach langzeitiger Lichtemission weniger verringert ist.

Genauer gesagt, beinhaltet die LED 100 Folgendes:

- ein Substrat 1 aus n-GaAs;
- eine erste Pufferschicht 2 aus n-GaAs;
- eine Lichtreflexions(DBR)schicht 3, die n- $(\text{Al}_{0,4}\text{Ga}_{0,6})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$ -Schichten und n- $\text{Al}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$ -Schichten aufweist, die in abwechselnder Weise abgedeckt sind;
- eine erste Mantelschicht 4 aus n- $\text{Al}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$ , dotiert mit Si mit einer Fremdstoffkonzentration von  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , 1  $\mu\text{m}$  dick;
- eine Barriere-Zwischenschicht 5 aus p- $(\text{Ga}_{0,5}\text{Al}_{0,5})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$ , dotiert mit Zn mit einer Fremdstoffkonzentration von  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , 0,2  $\mu\text{m}$  dick;
- eine Licht emittierende Schicht 6 aus p- $(\text{Ga}_{0,7}\text{Al}_{0,3})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$ , dotiert mit Zn mit einer Fremdstoffkonzentration von  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , 0,5  $\mu\text{m}$  dick;
- eine zweite Mantelschicht 7 aus p- $\text{Al}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$ , dotiert mit Zn mit einer Fremdstoffkonzentration von  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , 1  $\mu\text{m}$  dick;
- eine zweite Pufferschicht 8 aus p- $(\text{Al}_{0,03}\text{Ga}_{0,97})_{0,95}\text{In}_{0,05}\text{P}$ , dotiert mit Zn mit einer Fremdstoffkonzentration von  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , 0,15  $\mu\text{m}$  dick und

- eine Stromverteilschicht 9 aus p- $(\text{Al}_{0,01}\text{Ga}_{0,99})_{0,99}\text{In}_{0,01}\text{P}$ , dotiert mit Zn mit einer Fremdstoffkonzentration von  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , 7  $\mu\text{m}$  dick.

Die LED 100 bei diesem speziellen Beispiel unterscheidet sich von der in Fig. 12 dargestellten LED 800 dahingehend, dass die Barriere-Zwischenschicht 5 zwischen der Licht emittierenden Schicht 6 und der ersten Mantelschicht 4 vorhanden ist. Die Barriere-Zwischenschicht verfügt über einen Leitungstyp, der mit dem der Licht emittierenden Schicht 6 übereinstimmt, jedoch von dem der ersten Mantelschicht 4 verschieden ist. Die Energielücke der Barriere-Zwischenschicht 5 ist größer als diejenige der Licht emittierenden Schicht 6, jedoch kleiner als die der ersten Mantelschicht 4. Die Fremdstoffkonzentration von Zn in der Licht emittierenden Schicht 6 vom p-Typ beträgt  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , was der optimale Wert für den Lichtwirkungsgrad in der Anfangsperiode nach Beginn der Lichtemission ist.

Abweichend von der herkömmlichen LED 800 besteht beim Beispiel 1 die Stromverteilschicht 9 aus InGaAlP. Dies ist ein Versuch, die Lichtabsorption so niedrig wie möglich und die Lichtausgangsleistung so groß wie möglich zu machen.

Jedoch zeigt die Stromverteilschicht 9 keine Gitteranpassung an das GaAs-Substrat 1. Um den spezifischen Widerstand der Stromverteilschicht 9 zu senken, muss der Molenbruch von Al einen niedrigen Wert, d. h. 0,01 aufweisen. Daher ist der Molenbruch von In auf 0,01 eingestellt, um eine Verringerung der Energielücke auf Grund des gesenkten Molenbruchs von Al zu kompensieren. Da die Stromverteilschicht 9 einen In-Molenbruch von 0,01 aufweist, ist die Oberfläche derselben glatter als dann, wenn sie aus GaP bestehen würde. Daher ist es schwierig, eine an der Oberseite der Stromverteilschicht 9 ausgebildete Elektrode 10 abzutrennen. Der niedrige In-Molenbruch von 0,01 ermöglicht es der Stromverteilschicht 9 nicht, Gitteranpassung an irgendeine der Schichten vom Substrat 1 bis zur zweiten Mantelschicht 7 zu zeigen. Demgemäß ist die zweite Pufferschicht 8 zwischen der zweiten Mantelschicht 7 und der Stromverteilschicht 9 vorhanden, um eine Erzeugung von Kristalldefekten durch die Fehlanpassung der Gitterkonstanten zu verhindern. Genauer gesagt, weist die zweite Pufferschicht 8 eine Gitterkonstante zwischen derjenigen der Stromverteilschicht 9 und denjenigen des Substrats 1 usw. auf. Die mittlere Gitterkonstante der zweiten Pufferschicht 8 wird erhalten, wenn die Molenbrüche von Al und In beide 0,05 sind.

Nachfolgend werden unter Bezugnahme auf die Fig. 2 Wirkungen der Barriere-Zwischenschicht 5 beschrieben.

Die Fig. 2A und 2B veranschaulichen Bandzustände der LED 100 nach langzeitiger Lichtemission. Wie die Fig. 14A und 14B veranschaulicht die Fig. 2A einen Zustand der LED 100, wenn Ladungsträger mit Vorspannung in Durchlassrichtung in die Licht emittierende Schicht 6 injiziert werden. Die Barriere-Zwischenschicht 5 verfügt über einen solchen Al-Molenbruch, dass ihr Energiebandniveau zwischen denen der ersten n-Mantelschicht 4 und der Licht emittierenden Schicht 6 vom p-Typ liegt. Da die Barriere-Zwischenschicht 5 vom p-Typ ist, ist zwischen der ersten n-Mantelschicht 4 und der p-Barriere-Zwischenschicht 5 ein pn-Übergang ausgebildet. Injizierte Ladungsträger rekombinieren in der Nähe des pn-Übergangs. In der Schicht mit niedriger Energielücke, d. h. in der Barriere-Zwischenschicht 5, existieren sowohl Löcher als auch Elektronen. Selbst wenn die Dicke der Barriere-Zwischenschicht 5 ausreichend geringer als die Diffusionslänge der injizierten Minoritätsladungsträger ist, wird eine ausreichende Anzahl von Minoritätsladungsträger auch in die Licht emittierende

Schicht 6 injiziert. Da die Lebensdauer für strahlende Rekombination in der Licht emittierenden Schicht 6 kürzer als in der Barriere-Zwischenschicht 5 ist, wird in der Licht emittierenden Schicht 6 ein größerer Anteil von Ladungsträgern aufgebraucht als in der Barriere-Zwischenschicht 5. Demgemäß fehlt es der Licht emittierenden Schicht 6 an Ladungsträgern, und daher werden die in die Barriere-Zwischenschicht 5 eintretenden Ladungsträger schnell in die Licht emittierende Schicht 6 transportiert. Obwohl eine große Anzahl von Löchern und Elektronen in der Barriere-Zwischenschicht 5 existiert, tritt strahlende Rekombination wirkungsvoll in der Licht emittierenden Schicht 6 auf. Dies, weil die niedrigere Bandlücke zu kürzerer Lebensdauer strahlender Rekombination führt.

Wie oben beschrieben, hat die Barriere-Zwischenschicht 5 im Wesentlichen keinen Einfluss auf die Lichtemission und den Lichtwirkungsgrad der LED 100.

Fig. 2B veranschaulicht den Bandzustand der LED 100 mit der Barriere-Zwischenschicht 5 nach langzeitiger Lichtemission. In der Nähe des pn-Übergangs ist ein Energieniveau 20 für nichtstrahlende Rekombination erzeugt. Dennoch ist, da Ladungsträger in der Barriere-Zwischenschicht 5 schnell in die Licht emittierende Schicht 6 diffundieren, wie oben beschrieben, die Anzahl der auf diesem Energieniveau 20 kombinierenden Ladungsträger klein, was dazu führt, dass eine Verringerung des Lichtwirkungsgrads verhindert ist.

Wie oben beschrieben, verfügt die Barriere-Zwischenschicht 5 über einen Leitungstyp, der mit dem der Licht emittierenden Schicht 6 übereinstimmt, jedoch verschieden von dem der ersten Mantelschicht 4 ist. Die Energielücke der Barriere-Zwischenschicht 5 ist größer als diejenige der Licht emittierenden Schicht 6, jedoch kleiner als die der ersten Mantelschicht 4. Mit der Barriere-Zwischenschicht 5 kann die LED 100 derartig realisiert werden, dass der Lichtwirkungsgrad der Licht emittierenden Schicht 6 sowohl in der Anfangsperiode der Lichtemission als auch nach langzeitiger Lichtemission verringert ist.

Die Diffusionslänge eines Elektrons beträgt typischerweise 0,5–1,5  $\mu\text{m}$ . Beim Beispiel 1 weisen die Halbleiterschichten auf InGaAlP-Basis, deren In-Molenbrüche um 0,5 herum liegen, eine Diffusionslänge von ungefähr 0,5  $\mu\text{m}$  auf. In der LED 100 ist daher die Dicke der Barriere-Zwischenschicht 5 auf 0,2  $\mu\text{m}$  eingestellt. Nach langzeitiger Lichtemission wird in der Nähe der Grenzfläche (pn-Übergang) zwischen der p-Barriere-Zwischenschicht 5 und der ersten n-Mantelschicht 4 ein Kristalldefekt erzeugt. Um ein Wachstum des Kristalldefekts und damit eine Beeinflussung der Licht emittierenden Schicht 6 innerhalb der Lichtemissionszeit des tatsächlichen Gebrauchs zu verhindern, ist die Dicke der p-Barriere-Zwischenschicht 5 vorzugsweise groß, d. h. 0,1  $\mu\text{m}$  oder mehr.

In der LED 100 kombinieren die meisten Löcher und Elektronen in der Licht emittierenden Schicht 6, was zu höherem Lichtwirkungsgrad der LED 100 führt, wenn die Energielücke der p-Barriere-Zwischenschicht 5 um 0,2 eV oder mehr größer als diejenige der Licht emittierenden Schicht 6 ist (d. h.  $x_4 - x_1 \geq 0,15$ , wobei  $x_4$  und  $x_1$  die Al-Molenbrüche der p-Barriere-Zwischenschicht 5 bzw. der Licht emittierenden Schicht 6 sind, wie oben beschrieben).

Wenn der Al-Molenbruch 0,5 oder mehr beträgt, wird die aus einem Halbleiter auf InGaAlP-Basis bestehende Barriere-Zwischenschicht 5 eine Halbleiterschicht vom Typ mit indirektem Übergang. Daher tritt in der Barriere-Zwischenschicht 5 beinahe keine strahlende Rekombination auf, was den Wirkungsgrad strahlender Rekombination in der Licht emittierenden Schicht 6 weiter erhöht. In der LED 100 ist der Al-Molenbruch  $x_4$  der Barriere-Zwischenschicht 5

auf 0,5 eingestellt, wodurch diese eine Halbleiterschicht vom Typ mit indirektem Übergang wird. Dies erschwert es der Barriere-Zwischenschicht 5, Licht zu emittieren, wodurch praktisch alle injizierten Löcher und Elektronen strahlend in der Licht emittierenden Schicht 6 kombinieren.

Es wurde eine Anzahl von LEDs gemäß dem Beispiel 1 hergestellt und dann Langzeitbetrieb unter solchen Bedingungen unterzogen, dass den LEDs für 1000 Stunden bei Raumtemperatur ein Treiberstrom von 50 mA zugeführt wurde, wie beim Betrieb gemäß Fig. 13. Die Lichtausgangsleistungen der LEDs wurden nach 1000 Stunden gemessen. Im Ergebnis betrug die mittlere Lichtausgangsleistung 650  $\mu\text{W}$ , und die Änderung der Lichtausgangsleistung lag innerhalb von  $\pm 2\%$  im Vergleich zur Lichtausgangsleistung in der Anfangsperiode der Lichtemission, wobei der Treiberstrom 20 mA beträgt. Die Änderung der Lichtausgangsleistung ist für den praktischen Gebrauch ausreichend klein.

(Beispiel 2)

Fig. 3 ist eine Schnittansicht zum Veranschaulichen einer LED 200 gemäß einem Beispiel 2 der Erfindung. Der Einfachheit halber sind Komponenten mit denselben Funktionen wie denen der LED 100 des Beispiels 1 mit denselben Bezugswerten gekennzeichnet, wie sie dort verwendet sind.

Die LED 200 des Beispiels 2 unterscheidet sich von der LED 100 des Beispiels 1 dahingehend, dass eine Lichtemissionsschicht 6 nicht mit einem Fremdstoff dotiert ist, und daher vom n-Typ ist, und eine Barriere-Zwischenschicht 50 zwischen der Licht emittierenden Schicht 6 vom n-Typ und einer zweiten p-Mantelschicht 7 vorhanden ist. Die Energielücke der Barriere-Zwischenschicht 50 ist größer als diejenige der Licht emittierenden Schicht 6, jedoch niedriger als die der zweiten Mantelschicht 7. Die n-Barriere-Zwischenschicht 50 besteht aus  $(\text{Ga}_{0,5}\text{Al}_{0,5})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  mit Si mit einer Fremdstoffkonzentration von  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  und einer Dicke von 0,2  $\mu\text{m}$ .

Fig. 4 veranschaulicht den Bandzustand der LED 200 nach langzeitiger Lichtemission.

Wenn die LED 200 aus einem Material auf InGaAlP-Basis besteht, das Gitteranpassung an ein GaAs-Substrat 1 aufweist, und wenn die Licht emittierende Schicht 6 nicht mit einem Fremdstoff dotiert ist, erhält diese den n-Leitungstyp. Das Beispiel 2 wird für den Fall beschrieben, dass die Licht emittierende Schicht 6 vom n-Typ ist.

In der LED 200 ist die n-Barriere-Zwischenschicht 50 zwischen der Licht emittierenden Schicht 6 vom n-Typ und der zweiten p-Mantelschicht 7 vorhanden. Die Barriere-Zwischenschicht 50 ist mit Si dotiert. Die Fremdstoffkonzentration beträgt vorzugsweise  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  oder weniger. Die Dicke der Barriere-Zwischenschicht 50 ist kleiner als die Diffusionslänge von Löchern als Minoritätsladungsträgern. Die Diffusionslänge eines Lochs ist kleiner als die eines Elektrons, d. h. ungefähr 0,3  $\mu\text{m}$ . Demgemäß beträgt die Dicke der Barriere-Zwischenschicht 50 in der LED 200 des Beispiels 2 0,5  $\mu\text{m}$ . Dieser Wert ist größer als 0,1  $\mu\text{m}$ , was derjenige Dickenwert ist, der verhindert, dass der Einfluss eines durch einen pn-Übergang zwischen der Barriere-Zwischenschicht 50 und der zweiten p-Mantelschicht 7 hervorgerufenen Kristalldefekts die Licht emittierende Schicht 6 erreicht. Daher ist die Abnahme der Lichtausgangsleistung nach langzeitiger Lichtemission für den praktischen Gebrauch ausreichend klein, wie bei der LED 100 des Beispiels 1.

Es ist gut bekannt, dass langzeitige Lichtemission zur Diffusion von Zn führt, das ein p-Fremdstoff ist. Wenn Zn in die Licht emittierende Schicht 6 emittiert, fällt der Lichtemissions-Wirkungsgrad derselben. Insbesondere bei einer



LED mit hoher Ausgangsleistung sind die Stromverteilschicht 9 und die zweite p-Mantelschicht 7 mit einer großen Menge an Zn dotiert, um ihren spezifischen Widerstand zu senken. In diesem Fall ist die Zn-Diffusion in die Licht emittierende Schicht 6 deutlich, was zu einer Abnahme des Lichtemissions-Wirkungsgrads führt.

Bei der LED 200 des Beispiels 2 ist jedoch die Barriere-Zwischenschicht 50 mit niedriger Fremdstoffkonzentration zwischen der zweiten p-Mantelschicht 7 und der Licht emittierenden Schicht 6 vorhanden, wodurch die Diffusion von Zn in die Licht emittierende Schicht 6 verhindert ist und daher eine Abnahme des Lichtemissions-Wirkungsgrads verhindert ist. Insbesondere ist die Diffusion von Zn gering, da die Barriere-Zwischenschicht 50 einen niedrigen Al-Molenbruch aufweist. Daher ist die Barriere-Zwischenschicht 50 zum Verhindern von Zn-Diffusion wirkungsvoll. Im Ergebnis kann die LED 200 einen Lichtemissions-Wirkungsgrad aufweisen, der nach langzeitiger Lichtemission selbst dann nicht verringert ist, wenn die Fremdstoffkonzentration der Stromverteilschicht 9 erhöht wird, um die Betriebsspannung zu senken.

Bei der LED 200 des Beispiels 2 fällt die Lichtausgangsleistung nicht wesentlich, da im Wesentlichen keine Diffusion von Zn von der p-Stromverteilschicht 9 und der zweiten p-Mantelschicht 7 aus vorliegt. Zum Beispiel liegt nach Langzeitbetrieb bei Bedingungen dahingehend, dass ein Treiberstrom von 50 mA für 1000 Stunden bei Raumtemperatur LEDs zugeführt wird, wie beim Betrieb in Fig. 2, die Lichtausgangsleistung der LED 200 innerhalb von  $\pm 2\%$  von 450  $\mu\text{W}$ , wie sie in der Anfangsperiode der Lichtemission erzielt werden, wenn der Treiberstrom 20 mA beträgt. Es ist zu beachten, dass die Treiberspannung im Vergleich zu der beim Beispiel 1 um 10% verringert ist.

#### (Beispiel 3)

Fig. 5 ist eine Schnittansicht zum Veranschaulichen einer LED 300 gemäß dem Beispiel 3 der Erfindung. Der Einfachheit halber sind Komponenten mit denselben Funktionen wie denen der LED 100 des Beispiels 1 mit denselben Bezugszahlen bezeichnet, wie sie dort verwendet sind.

Die LED 300 des Beispiels 3 unterscheidet sich von der LED 100 des Beispiels 1 dahingehend, dass zusätzlich zur zwischen einer ersten n-Mantelschicht 4 und einer Licht emittierenden Schicht 6 vom p-Typ eine erste p-Barriere-Zwischenschicht 51 (durch die Bezugszahl 5 beim Beispiel 1 gekennzeichnet) vorhanden ist und zwischen der Licht emittierenden Schicht 6 vom n-Typ und der zweiten p-Mantelschicht 7 eine zweite p-Barriere-Zwischenschicht 52 vorhanden ist. Diese p-Barriere-Zwischenschicht 52 besteht aus  $(\text{Ga}_{0,5}\text{Al}_{0,5})_{0,51}\text{In}_{0,49}\text{P}$ , dotiert mit Zn mit einer Fremdstoffkonzentration von  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  und einer Dicke von 0,2  $\mu\text{m}$ .

Fig. 6 veranschaulicht Bandzustände der LED 300 in einer Anfangsperiode der Lichtemission und nach langzeitiger Lichtemission.

Zusätzlich zur Konfiguration der LED 100 des Beispiels 1 ist die zweite p-Barriere-Zwischenschicht 52 zwischen der Licht emittierenden Schicht 6 vom p-Typ und der zweiten p-Mantelschicht 7 vorhanden, die keine Grenzfläche eines pn-Übergangs bilden. Die zweite p-Barriere-Zwischenschicht 52 verhindert die Erzeugung eines Kristalldefekts auf Grund einer Energielücke zwischen der Licht emittierenden Schicht 6 und der zweiten Mantelschicht 7, wie es beim Beispiel 2 beschrieben ist. Das Verhindern einer Verringerung der Lichtausgangsleistung ist wirkungsvoller als bei der LED 100 des Beispiels 1.

Ferner verfügt die zweite p-Barriere-Zwischenschicht 52

über niedrige Fremdstoffkonzentration und niedrigen Al-Molenbruch. Daher verhindert diese zweite p-Barriere-Zwischenschicht 52 die Diffusion von Zn aus der p-Stromverteilschicht 9 und der zweiten p-Mantelschicht 7 in die Licht emittierende Schicht 6, um dadurch eine Abnahme des Lichtemissions-Wirkungsgrads zu verhindern.

Im Ergebnis verhindert die LED 300 des Beispiels 3 eine Abnahme des Lichtemissions-Wirkungsgrads der Licht emittierenden Schicht 6 über eine längere Zeitperiode der Lichtemission als dies die LED 100 des Beispiels 1 tut.

Darüber hinaus verfügt die LED 300 des Beispiels 3 im Vergleich mit der LED 100 des Beispiels 1 über einen niedrigen Grad der Erzeugung von Kristalldefekten und demgemäß über höhere Lichtausgangsleistung. Genauer gesagt, wurde die Lichtausgangsleistung der LED 300 nach Betrieb für 1000 Stunden gemessen, wobei der LED 300 ein Treiberstrom von 50 mA bei Raumtemperatur zugeführt wurde. Diese Bedingung ist derjenigen ähnlich, die beim Betrieb gemäß Fig. 13 verwendet wurde. Im Ergebnis betrug die Lichtausgangsleistung der LED 300 720  $\mu\text{W}$ . Dieser Wert lag innerhalb von  $\pm 2\%$  der Lichtausgangsleistung, die in der Anfangsperiode der Lichtemission bei einem Treiberstrom von 20 mA erhalten wurde.

#### (Beispiel 4)

Fig. 7 ist eine Schnittansicht zum Veranschaulichen einer LED 400 gemäß einem Beispiel 4 der Erfindung. Der Einfachheit halber sind Komponenten mit denselben Funktionen wie denen der LED 100 des Beispiels 1 mit denselben Bezugszahlen bezeichnet, wie sie dort verwendet sind.

Die LED 400 des Beispiels 4 unterscheidet sich von der LED 100 des Beispiels 1 dahingehend, dass eine Licht emittierende Schicht 60 Mehrfach-Quantentrog (MQW = multi-quantum well)-Struktur aufweist und zwischen der Licht emittierenden Schicht 60 und der ersten n-Mantelschicht 4 eine Barriere-Zwischenschicht 5 vorhanden ist. Die Licht emittierende Schicht 6 besteht aus abwechselnden  $\text{Ga}_{0,51}\text{In}_{0,49}\text{P}$ -Schichten und  $(\text{Ga}_{0,5}\text{Al}_{0,5})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$ -Schichten mit einer Dicke unter der De-Broglie-Wellenlänge. Die Energielücke der Barriere-Zwischenschicht 5 hat einen Wert zwischen denen der Licht emittierenden Schicht 6 und der ersten n-Mantelschicht 5. Die Barriere-Zwischenschicht 5 ist mit einer geringen Dicke, d. h. mit 0,05  $\mu\text{m}$ , vorhanden.

Durch die MQW-Struktur wird die Erzeugung eines Kristalldefekts in der Licht emittierenden Schicht 6 behindert. Daher breitet sich jeglicher Kristalldefekt, der in einem pn-Übergang zwischen der ersten n-Mantelschicht 4 und der Barriere-Zwischenschicht 5 erzeugt wird, kaum mit aufweisendem Wachstum in die Licht emittierende Schicht 60 aus. Es ist möglich, eine Verringerung der Lichtausgangsleistung zu verhindern, wenn die Dicke der Barriere-Zwischenschicht 5 einen Wert von bis zu 0,02  $\mu\text{m}$  aufweist.

#### (Beispiel 5)

Fig. 8 ist eine Schnittansicht zum Veranschaulichen einer LED 500 gemäß einem Beispiel 5 der Erfindung. Der Einfachheit halber sind Komponenten mit denselben Funktionen wie denen der LED 100 des Beispiels 1 mit denselben Bezugszahlen bezeichnet, wie sie dort verwendet sind.

Jede der LEDs der vorstehenden Beispiele verfügt über ein Substrat von n-Typ. Beim Beispiel 5 verfügt die LED 500 über ein Substrat vom p-Typ. In diesem Fall werden ebenfalls dieselben Wirkungen wie mit den LEDs der vorigen Beispiele erzielt.

Die LED 500 des Beispiels 5 beinhaltet Folgendes:



- ein Substrat 1 aus p-GaAs;
- eine erste Pufferschicht 2 aus p-GaAs;
- eine Lichtreflexions(DBR)schicht 3 mit p- $(\text{Al}_{0,4}\text{Ga}_{0,6})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$ -Schichten und p- $\text{Al}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$ -Schichten, die auf abwechselnde Weise abgeschieden sind;
- eine erste Mantelschicht 4 aus p- $\text{Al}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$ , dotiert mit Zn mit einer Fremdstoffkonzentration von  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , 1  $\mu\text{m}$  dick;
- eine Barriere-Zwischenschicht 5 aus n- $(\text{Ga}_{0,5}\text{Al}_{0,5})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$ , dotiert mit Si mit einer Fremdstoffkonzentration von  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , 0,1  $\mu\text{m}$  dick;
- eine Licht emittierende Schicht 6 aus n- $(\text{Ga}_{0,7}\text{Al}_{0,3})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$ , 0,5  $\mu\text{m}$  dick;
- eine zweite Mantelschicht 7 aus n- $\text{Al}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$ , dotiert mit Si mit einer Fremdstoffkonzentration von  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , 1  $\mu\text{m}$  dick;
- eine zweite Pufferschicht 8 aus n- $(\text{Al}_{0,051}\text{Ga}_{0,959})_{0,95}\text{In}_{0,05}\text{P}$ , dotiert mit Si mit einer Fremdstoffkonzentration von  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , 0,15  $\mu\text{m}$  dick; und
- eine Stromverteilschicht 9 aus n- $(\text{Al}_{0,01}\text{Ga}_{0,99})_{0,99}\text{In}_{0,01}\text{P}$ , dotiert mit Si mit einer Fremdstoffkonzentration von  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , 7  $\mu\text{m}$  dick.

Da ein p-Substrat schwieriger als ein n-Substrat herzustellen ist, wird für die meisten LEDs ein n-Substrat verwendet. Da die LED 500 ein p-Substrat enthält, ist die Stromverteilschicht 9 vom n-Typ. Diese n-Stromverteilschicht 9 kann selbst dann, wenn ihre Fremdstoffkonzentration niedriger als die einer p-Stromverteilschicht ist, dieselbe Stromverteilungswirkung wie die Letztere aufweisen. Dies führt in vorteilhafter Weise zu einer Abnahme des in die Licht emittierende Schicht 6 diffundierenden Fremdstoffs und so zu einem wesentlichen Verhindern einer Verringerung des Lichtemissions-Wirkungsgrads. Ferner kann der Kontaktwiderstand zwischen der n-Stromverteilschicht 9 und der n-seitigen Elektrode gesenkt werden.

Gemäß allen vorigen Beschreibungsinhalten besteht jeder der LEDs aus einem Halbleiter auf InGaAlP-Basis mit Gitteranpassung an ein GaAs-Substrat. Aus den obigen Beschreibungsinhalten ist es ersichtlich, dass erfindungsgemäße LEDs aus anderen Materialien bestehen können, wie einem III-V-Halbleiter (z. B. AlGaAs, AlGaInSb, InGaAsP, AlGaInN und GaInNSb) und einem II-VI-Verbindungshalbleiter. Die Dicke und die Ladungsträgerkonzentration der Schichten aus diesen Materialien können bei erfindungsgemäßen LEDs ebenfalls modifiziert werden.

#### (Beispiel 6)

Fig. 9 ist eine Schnittansicht zum Veranschaulichen einer LED 600 gemäß einem Beispiel 6 der Erfindung. Der Einfachheit halber sind Komponenten mit denselben Funktionen wie denen der in Fig. 15 dargestellten herkömmlichen LED 900 mit denselben Bezugszahlen bezeichnet, wie sie dort verwendet sind.

Die LED 600 des Beispiels 6 unterscheidet sich von der herkömmlichen LED 900 dahingehend, dass eine zweite p-Mantelschicht 105 aus einer zweiten p-Barriere-Zwischenschicht 53 und einer zweiten p-Mantelschicht 54 besteht. Die zweite n-Barriere-Zwischenschicht 53 weist einen Al-Molenbruch über dem einer Licht emittierenden Schicht 104 und unter dem der zweiten p-Mantelschicht 105 der LED 900 auf, und sie ist unterhalb der zweiten p-Mantelschicht 105 vorhanden. Die zweite p-Mantelschicht 54 verfügt über einen ausreichenden Al-Molenbruch zum Eingrenzen von Ladungsträgern, und sie ist oberhalb der zweiten p-Mantel-

schicht 105 vorhanden.

Die LED 600 des Beispiels 6 ist mit Folgendem versehen:

- der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht 53 aus p- $(\text{Ga}_{0,5}\text{Al}_{0,5})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  (der Al-Molenbruch beträgt 0,5), dotiert mit Zn mit einer Fremdstoffkonzentration von  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , 0,3  $\mu\text{m}$  dick;
- der zweiten p-Mantelschicht 54 aus p- $\text{Al}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  (der Al-Molenbruch beträgt 1,0), dotiert mit Zn mit einer Fremdstoffkonzentration von  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , 1,0  $\mu\text{m}$  dick; und
- einer Stromdiffusionsschicht 106 in Form einer Monoschicht.

Bei der oben beschriebenen Struktur hat die zweite p-Mantelschicht 54 einen ausreichenden Al-Molenbruch zum Eingrenzen von Ladungsträgern, wodurch es ermöglicht ist, hohe Lichtausgangsleistung der LED 600 zu erzielen. Der Al-Molenbruch  $x$  der zweiten p-Mantelschicht 54 liegt vorzugsweise im Bereich von  $0,7 \leq x \leq 1$ . Die zweite p-Barriere-Zwischenschicht 53 verfügt über niedrige Fremdstoffkonzentration und niedrigen Al-Molenbruch. Dies führt zum Verhindern von Fremdstoffdiffusion durch Lichtemission, um dadurch eine Abnahme der Lichtausgangsleistung nach langzeitiger Lichtemission zu verhindern.

Es ist zu beachten, dass in der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht 53 der niedrige Al-Molenbruch und die niedrige Fremdstoffkonzentration für eine Verbesserung der Kristallinität und demgemäß ein Verhindern von Fremdstoffdiffusion verantwortlich sind. Die hohe Oxidation von Al bewirkt, dass Sauerstoff, der im Material einer Schicht enthalten ist, in den Kristall eingebracht wird. Daher macht ein hoher Al-Molenbruch die Kristallstruktur im Vergleich mit der idealen Struktur des Kristalls unvollkommen. Ein Kristall mit einer derartigen unvollkommenen Struktur verfügt häufig über einen leeren Gitterplatz, der ein Gitterplatz in einem idealen Kristall ist, an dem die Positionierung eines Atoms erwartet wird, der jedoch kein Atom enthält; außerdem verfügt er über eine Leerstelle, die größer als diejenige ist, die in einem idealen Kristall erwartet wird. Dies erleichtert die Diffusion von Fremdstoffen im Vergleich mit der Diffusion in einem idealen Kristall.

Vorzugsweise ist der Al-Molenbruch der zweiten p-Mantelschicht 54 so groß wie möglich, um Ladungsträger zufriedenstellend einzugrenzen. Im Allgemeinen hat  $x$  den Wert 1,0. Auch ist der spezifische Widerstand der zweiten p-Mantelschicht 54 vorzugsweise so niedrig wie möglich, damit Ladungsträger in die gesamte Licht emittierende Schicht 104 diffundieren. Zu diesem Zweck ist die Fremdstoffkonzentration der zweiten p-Mantelschicht 54 vorzugsweise so hoch wie möglich.

In der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht 53 sollte der Al-Molenbruch auf einen niedrigen Wert, z. B. 0,5, eingestellt werden. Dies verbessert die Kristallinität, um es dadurch zu ermöglichen, eine Fremdstoffdiffusion trotz geringer Dicke der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht 53 zu verhindern.

Wenn die Dicke der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht 53 groß ist, emittieren aus der Licht emittierenden Schicht 104 überströmende Ladungsträger Licht in der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht 53, oder sie werden durch nichtstrahlende Kombination beseitigt, wodurch der Lichtemissions-Wirkungsgrad der Licht emittierenden Schicht 104 fällt. Um diesen Effekt zu verhindern, beträgt die Dicke der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht 53 vorzugsweise die Hälfte der Diffusionslänge eines Elektrons, das ein Minoritätsladungsträger in der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht 53 ist. Ein InGaAlP-Kristall mit einem Al-Molenbruch von 0,5

weist normalerweise eine Elektronen-Diffusionslänge von ungefähr  $0,5 \mu\text{m}$  auf. Demgemäß beträgt die Dicke der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht 53 vorzugsweise  $0,3 \mu\text{m}$  oder weniger.

Es ist zu beachten, dass es bevorzugter ist, dass sowohl die Fremdstoffkonzentration als auch die Dicke der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht 53 optimiert werden.

Fig. 10A veranschaulicht die Beziehung zwischen der Fremdstoffkonzentration und dem Verhältnis der Lichtausgangsleistung nach Lichtemission für 1000 Stunden zur Lichtausgangsleistung in der Anfangsperiode der Lichtemission für die zweite p-Barriere-Zwischenschicht 53. Fig. 10B veranschaulicht die Beziehung zwischen der Dicke und dem Verhältnis aus der Lichtausgangsleistung nach Lichtemission für 1000 Stunden zur Lichtausgangsleistung in der Anfangsperiode der Lichtemission für die zweite p-Barriere-Zwischenschicht 53. Der Lichtemissionsvorgang wurde bei solchen Bedingungen ausgeführt, dass der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht 53 bei Raumtemperatur ein Treiberstrom von  $50 \text{ mA}$  zugeführt wurde.

Wenn die Fremdstoffkonzentration der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht 53 hoch ist, nimmt der Lichtemissions-Wirkungsgrad ab. Dies kann der Fall sein, weil aus einer Stromverteilschicht 106 und der zweiten p-Mantelschicht 54 eindiffundiert Fremdstoffe solche Fremdstoffe, die sich in der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht 53 befinden, in der Licht emittierenden Schicht 104 ablagern.

Andererseits diffundieren einige Fremdstoffe in die Licht emittierende Schicht 104, was eine Abnahme der Lichtausgangsleistung hervorruft, wenn die Dicke der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht 53 zu gering ist.

Wie es aus der Fig. 10A erkennbar ist, verhindert eine zweite p-Barriere-Zwischenschicht 53 mit einer ausreichend niedrigen Fremdstoffkonzentration von  $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  oder darunter das weitere Diffundieren von p-Fremdstoffen, die von der Stromverteilschicht 106 und der zweiten p-Mantelschicht 54 eindiffundiert sind, in die Licht emittierende Schicht 104. In diesem Fall beträgt die Lichtausgangsleistung nach Lichtemission für 1000 Stunden  $80\%$  oder mehr der Lichtausgangsleistung in der Anfangsperiode der Lichtemission, was ein Niveau der Lichtintensität ist, das für den praktischen Gebrauch ausreichend ist.

Fig. 10B zeigt ein Ergebnis, bei dem die Fremdstoffkonzentration der Licht emittierenden Schicht 104  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  beträgt. Wie es aus der Fig. 10B erkennbar ist, ermöglicht eine zweite p-Barriere-Zwischenschicht 53 mit einer Dicke von  $0,1 \mu\text{m}$  oder mehr die Realisierung einer LED mit einer Lichtausgangsleistung nach 1000 Stunden Lichtemission, die  $90\%$  oder mehr der Lichtausgangsleistung in der Anfangsperiode der Lichtemission beträgt. Eine derartige LED ist für die Praxis von Nutzen.

Wenn die zweite p-Barriere-Zwischenschicht 53 große Dicke aufweist, verliert die zweite p-Mantelschicht 54 ihre Wirkung der Ladungsträger-Eingrenzung. Eine derartige zweite p-Barriere-Zwischenschicht 53 dient als p-Mantelschicht mit ursprünglicher Funktion. In diesem Fall werden Ladungsträger durch strahlende Rekombination und dergleichen in der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht 53 aufgebraucht. Daher muss die Dicke der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht 53 gleich groß wie oder kleiner als die Diffusionslänge eines Elektrons sein, das ein Minoritätsladungsträger einer p-Schicht ist. Die Diffusionslänge eines Elektrons beträgt in einem Verbindungshalbleiter auf AlGaInP-Basis, der Gitteranpassung zu GaAs aufweist,  $0,5\text{--}1,5 \mu\text{m}$ . Wenn der Al-Molenbruch im Verbindungshalbleiter auf AlGaInP-Basis  $0,5$  beträgt, beträgt die Diffusionslänge eines Elektrons ungefähr  $0,5 \mu\text{m}$ . Daher muss die Dicke der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht 53  $0,5 \mu\text{m}$  oder weniger, bevor-

zugter  $0,3 \mu\text{m}$  oder weniger betragen.

(Beispiel 7)

Fig. 11 ist eine Schnittansicht zum Veranschaulichen einer LED gemäß einem Beispiel 7 der Erfindung. Auf einem n-GaAs-Substrat 201 werden aufeinanderfolgend eine erste Mantelschicht 21 aus  $n\text{-(Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$  ( $x = 1,0$ ,  $y = 0,5$ , Si-Ladungsträgerkonzentration von  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ,  $1 \mu\text{m}$  dick); eine erste Barriere-Zwischenschicht 22 aus  $n\text{-(Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$  ( $x = 0,5$ ,  $y = 0,5$ , Si-Ladungsträgerkonzentration von  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ,  $0,5 \mu\text{m}$  dick); eine Licht emittierende Schicht 203 aus  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$  ( $x = 0,3$ ,  $y = 0,5$ ,  $0,5 \mu\text{m}$  dick); eine zweite Barriere-Zwischenschicht 41 aus  $p\text{-(Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$  ( $x = 0,5$ ,  $y = 0,5$ , Zn-Ladungsträgerkonzentration von  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ,  $0,5 \mu\text{m}$  dick); eine zweite Mantelschicht 42 aus  $p\text{-(Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$  ( $x = 1,0$ ,  $y = 0,5$ , Zn-Ladungsträgerkonzentration von  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ,  $1 \mu\text{m}$  dick); und eine Stromverteilschicht 205 aus  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$  ( $x = 0,05$ ,  $y = 0,90$ , Zn-Ladungsträgerkonzentration von  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $7 \mu\text{m}$  dick) abgeschieden. Ferner wird auf der Oberseite der Stromverteilschicht 205 eine p-seitige Elektrode 207 hergestellt. Auf der Unterseite des Substrats 201 wird eine n-seitige Elektrode 209 hergestellt. Anschließend wird eine Licht emittierende Diode 700 vollständig hergestellt.

Die zweite p-Barriere-Zwischenschicht 41 verfügt über niedrigen Al-Molenbruch und niedrige Fremdstoffkonzentration und ferner über eine große Dicke von  $0,5 \mu\text{m}$ . Daher verhindert die zweite p-Barriere-Zwischenschicht 41 die Diffusion von Fremdstoffen aus der Stromverteilschicht 205 und der zweiten p-Mantelschicht 42 in die Licht emittierende Schicht 203, um dadurch eine Verringerung des Lichtemissions-Wirkungsgrads zu verhindern. Wegen der ersten n-Barriere-Zwischenschicht 22 kann die Licht emittierende Schicht 203 mit niedrigem Al-Molenbruch auf ihr hergestellt werden. Der niedrige Al-Molenbruch führt zu zufriedenstellender Kristallinität der Licht emittierenden Schicht 203. Der pn-Übergang zwischen der Licht emittierenden Schicht 203 mit derartiger zufriedenstellender Kristallinität und der ersten n-Barriere-Zwischenschicht 22 kann den Lichtemissions-Wirkungsgrad verbessern.

Gemäß allen vorstehenden Beschreibungsinhalten besteht jede der LEDs aus einem Halbleiter auf InGaAlP-Basis mit Gitteranpassung an ein GaAs-Substrat. Wie es aus den Beschreibungsinhalten ersichtlich ist, können die erfindungsgemäßen LEDs aus anderen Materialien hergestellt werden, wie einem III-V-Verbindungshalbleiter (z. B. AlGaAs, AlGaInSb, InGaAsP und AlGaInN), in dem eine Energielücke durch den Al-Molenbruch eingestellt werden kann. Die Dicke und die Ladungsträgerkonzentration der aus diesen Materialien hergestellten Schichten können bei den erfindungsgemäßen LEDs ebenfalls modifiziert werden.

Wie oben beschrieben, ist bei einer erfindungsgemäßen LED die Lichtausgangsleistung selbst nach langzeitiger Lichtemission weniger gesenkt.

Gemäß einer Erscheinungsform der Erfindung wird verhindert, dass ein an einem pn-Übergang erzeugter Kristalldefekt eine Licht emittierende Schicht beeinflusst, um dadurch eine LED zu realisieren, bei der eine Verringerung der Lichtausgangsleistung selbst nach langzeitiger Lichtemission verhindert ist.

Gemäß einer anderen Erscheinungsform der Erfindung ist verhindert, dass ein an einem pn-Übergang erzeugter Kristalldefekt eine Licht emittierende Schicht beeinflusst, so dass eine Verringerung des Lichtemissions-Wirkungsgrads verhindert ist, um dadurch eine LED zu realisieren, bei der eine Verringerung der Lichtausgangsleistung sogar nach



langzeitiger Lichtemission verhindert ist.

Gemäß noch einer anderen Erscheinungsform der Erfindung ist nichtstrahlende Rekombination in der Barriere-Zwischenschicht im Wesentlichen beseitigt, um dadurch eine LED mit hohem Lichtemissions-Wirkungsgrad zu realisieren. 5

Gemäß noch einer anderen Erscheinungsform der Erfindung ist verhindert, dass ein p-Fremdstoff, der die Tendenz zu leichter Diffusion zeigt, in die Licht emittierende Schicht diffundiert, um dadurch eine Verringerung des Lichtemissions-Wirkungsgrads zu verhindern. 10

Gemäß noch einer anderen Erscheinungsform der Erfindung ist die Lichtausgangsleistung im Spektrum von rotem Licht bis zu grünem Licht selbst nach langzeitiger Lichtemission weniger gesenkt. 15

Gemäß noch einer anderen Erscheinungsform der Erfindung ist selbst dann, wenn die LED eine LED hoher Intensität ist, die eine Mantelschicht mit einem hohen Al-Molenbruch enthält, verhindert, dass ein p-Fremdstoff, der die Tendenz leichter Diffusion zeigt, aus der Stromverteil- 20 schicht oder der zweiten p-Mantelschicht in die Licht emittierende Schicht diffundiert, und zwar selbst nach langzeitiger Lichtemission, wodurch eine Verringerung der Lichtausgangsleistung verhindert ist.

Gemäß noch einer anderen Erscheinungsform der Erfindung beträgt der Al-Molenbruch der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht 0,5 oder weniger, und der Al-Molenbruch der zweiten p-Mantelschicht beträgt 0,7 oder mehr, um dadurch in zufriedenstellender Weise die Kristallinität der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht aufrechtzuerhalten und es dadurch zu ermöglichen, die Diffusion eines Fremdstoffs zu verhindern. 25

Gemäß noch einer anderen Erscheinungsform der Erfindung behält die zweite p-Mantelschicht selbst dann, wenn die LED die zweite p-Barriere-Zwischenschicht enthält, ihren Ladungsträger-Eingrenzungeffekt bei, wodurch hohe Lichtausgangsleistung realisiert wird und es ermöglicht wird, die Charakteristik der LED bei hoher Temperatur aufrechtzuerhalten. Ferner verfügt die zweite p-Mantelschicht über niedrige Fremdstoffkonzentration und absorbiert daher eintreffende Fremdstoffe, um zu verhindern, dass sie in die Licht emittierende Schicht diffundieren. 30

Gemäß noch einer anderen Erscheinungsform der Erfindung wird selbst dann, wenn die LED Licht im Spektrum von rotem Licht bis zu grünem Licht mit hoher Intensität für lange Zeit emittiert, verhindert, dass ein p-Fremdstoff, der die Tendenz leichter Diffusion zeigt, aus der Stromverteil- 35 schicht oder der zweiten p-Mantelschicht in die Licht emittierende Schicht diffundiert, um dadurch eine Verringerung der Lichtausgangsleistung zu verhindern.

Dem Fachmann sind verschiedene andere Modifizierungen erkennbar, und diese können von ihm leicht ausgeführt werden, ohne vom Schutzzumfang und Grundgedanken der Erfindung abzuweichen. Demgemäß soll der Schutzzumfang der hier angefügten Ansprüche nicht auf die hier dargelegte Beschreibung beschränkt werden, sondern vielmehr sollen die Ansprüche breit ausgelegt werden. 40 45 50

#### Patentansprüche

##### 1. Licht emittierende Diode mit:

- einem Substrat (1);
- einer Licht emittierenden Schicht (6);
- einer ersten Mantelschicht (4) von erstem Leitungstyp und mit einer Energielücke, die größer als eine Energielücke der Licht emittierenden Schicht ist;
- einer zweiten Mantelschicht (7) von zweitem

Leitungstyp und mit einer Energielücke, die größer als eine Energielücke der Licht emittierenden Schicht ist; und

- einer Barriere-Zwischenschicht (5) vom selben Leitungstyp wie dem der Licht emittierenden Schicht, jedoch mit anderem Leitungstyp als dem der ersten oder zweiten Mantelschicht und mit einer Energielücke, die kleiner als die Energielücke der ersten oder zweiten Mantelschicht, jedoch größer als die Energielücke der Licht emittierenden Schicht ist;

- wobei die Licht emittierende Diode eine Doppelheterostruktur dergestalt aufweist, dass die Licht emittierende Schicht zwischen die erste und zweite Mantelschicht eingebettet ist;

- und die Barriere-Zwischenschicht zwischen der Licht emittierenden Schicht und der ersten Mantelschicht und/oder zwischen der Licht emittierenden Schicht und der zweiten Mantelschicht angeordnet ist.

2. Licht emittierende Diode nach Anspruch 1, bei der die Dicke der Barriere-Zwischenschicht (5) kleiner als die Diffusionslänge eines Minoritätsladungsträger in der Barriere-Zwischenschicht und größer als ein solcher Wert ist, dass ein an der Grenzfläche zwischen der Barriere-Zwischenschicht und der ersten oder zweiten Mantelschicht (4 oder 7) erzeugtes nichtstrahlendes Rekombinationszentrum im Wesentlichen keinen Einfluss auf die Licht emittierende Schicht (6) ausübt.

3. Licht emittierende Diode nach Anspruch 1, bei der die Dicke der Barriere-Zwischenschicht (5) im Bereich von 0,1 µm oder mehr und 0,5 µm oder weniger liegt.

4. Licht emittierende Diode nach Anspruch 1, bei der die Energielücke der Barriere-Zwischenschicht (5) um 0,2 eV oder mehr größer als die Energielücke der Licht emittierenden Schicht (6) ist.

5. Licht emittierende Diode nach Anspruch 1, bei der die Barriere-Zwischenschicht (5) eine Schicht aus einem Halbleiter mit indirektem Übergang mit langer Lebensdauer für nichtstrahlende Rekombination ist.

6. Licht emittierende Diode nach Anspruch 1, bei der die Barriere-Zwischenschicht eine erste und eine zweite Barriere-Zwischenschicht (51, 52) aufweist, wobei die erste Barriere-Zwischenschicht zwischen der Licht emittierenden Schicht (6) und der ersten Mantelschicht (4) vorhanden ist und die zweite Barriere-Zwischenschicht zwischen der Licht emittierenden Schicht und der zweiten Mantelschicht (7) vorhanden ist; wobei die erste Barriere-Zwischenschicht vom selben Leitungstyp wie dem der Licht emittierenden Schicht jedoch von anderem Leitungstyp als dem der ersten, an die erste Barriere-Zwischenschicht angrenzenden Mantelschicht ist, und sie eine Energielücke aufweist, die kleiner als diejenige der ersten Mantelschicht, jedoch größer als diejenige der Licht emittierenden Schicht ist; und wobei die zweite Barriere-Zwischenschicht vom selben Leitungstyp wie dem der Licht emittierenden Schicht und dem der zweiten, an die zweite Barriere-Zwischenschicht angrenzenden Mantelschicht ist, und sie eine Energielücke aufweist, die kleiner als diejenige der zweiten Mantelschicht, jedoch größer als diejenige der Licht emittierenden Schicht ist.

7. Licht emittierende Diode nach Anspruch 1, bei der das Substrat (1) aus GaAs besteht; die erste Mantelschicht (4) aus  $(\text{Ga}_{1-x_2}\text{Al}_{x_2})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  ( $x_1 < x_2 \leq 1$ ) besteht;

- die Licht emittierende Schicht (6) aus  $(\text{Ga}_{1-x_1}\text{Al}_{x_1})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  ( $0 \leq x_1 < 1$ ) besteht;



- die Barriere-Zwischenschicht (5) aus  $(\text{Ga}_{1-x_4}\text{Al}_{x_4})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  ( $x_1 < x_4 < x_2$ ,  $x_3$ ) besteht; und
  - die zweite Mantelschicht (7) aus  $(\text{Ga}_{1-x_3}\text{Al}_{x_3})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  ( $x_1 < x_3 \leq 1$ ) besteht.
8. Licht emittierende Diode mit: 5
- einem Substrat (1);
  - einer Licht emittierenden Schicht (6);
  - einer p-Mantelschicht (105) mit einer Energielücke, die größer als eine Energielücke der Licht emittierenden Schicht ist; und 10
  - einer n-Mantelschicht (7) mit einer Energielücke, die größer als diejenige der Licht emittierenden Schicht ist;
  - wobei die Licht emittierende Diode aus mindestens einem III-V-Verbindungshalbleitermaterial 15 besteht und Doppelheterostruktur dergestalt aufweist, dass die Licht emittierende Schicht zwischen die p- und die n-Mantelschicht eingebettet ist; wobei die p-Mantelschicht eine zweite p-Barriere-Zwischenschicht (53) und eine zweite p-Mantelschicht (54) aufweist, wobei die zweite p-Barriere-Zwischenschicht näher an der Licht emittierenden Schicht als die zweite p-Mantelschicht liegt und sie einen niedrigeren Al-Molenbruch und eine niedrigere Fremdstoffkonzentration 20 aufweist, als es dem Al-Molenbruch bzw. der Fremdstoffkonzentration der zweiten p-Mantelschicht entspricht.
9. Licht emittierende Diode nach Anspruch 8, bei der der Al-Molenbruch der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht (53) 0,5 oder weniger beträgt und der Al-Molenbruch der zweiten p-Mantelschicht (54) 0,7 oder mehr beträgt. 30
10. Licht emittierende Diode nach Anspruch 8, bei der die Fremdstoffkonzentration der zweiten p-Barriere-Zwischenschicht (53)  $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  oder weniger beträgt und ihre Dicke im Bereich von 0,1  $\mu\text{m}$  oder mehr und 0,5  $\mu\text{m}$  oder weniger liegt. 35
11. Licht emittierende Diode nach Anspruch 8, bei der
- das Substrat (1) aus GaAs besteht; 40
  - die erste n-Mantelschicht (4) aus  $(\text{Ga}_{1-x_2}\text{Al}_{x_2})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  ( $x_1 < x_2 \leq 1$ ) besteht;
  - die Licht emittierende Schicht (6) aus  $(\text{Ga}_{1-x_1}\text{Al}_{x_1})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  ( $0 \leq x_1 < x_2$ ,  $x_3$ ) besteht;
  - die zweite p-Barriere-Zwischenschicht (53) aus  $(\text{Ga}_{1-x_4}\text{Al}_{x_4})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  besteht ( $x_1 < x_4 < x_3$ , Fremdstoffkonzentration von weniger als  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ); und 45
  - die zweite p-Mantelschicht (54) aus  $(\text{Ga}_{1-x_3}\text{Al}_{x_3})_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$  besteht ( $x_1 < x_3 \leq 1$ , Fremdstoffkonzentration von  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  oder mehr). 50

Hierzu 13 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

*FIG. 1*

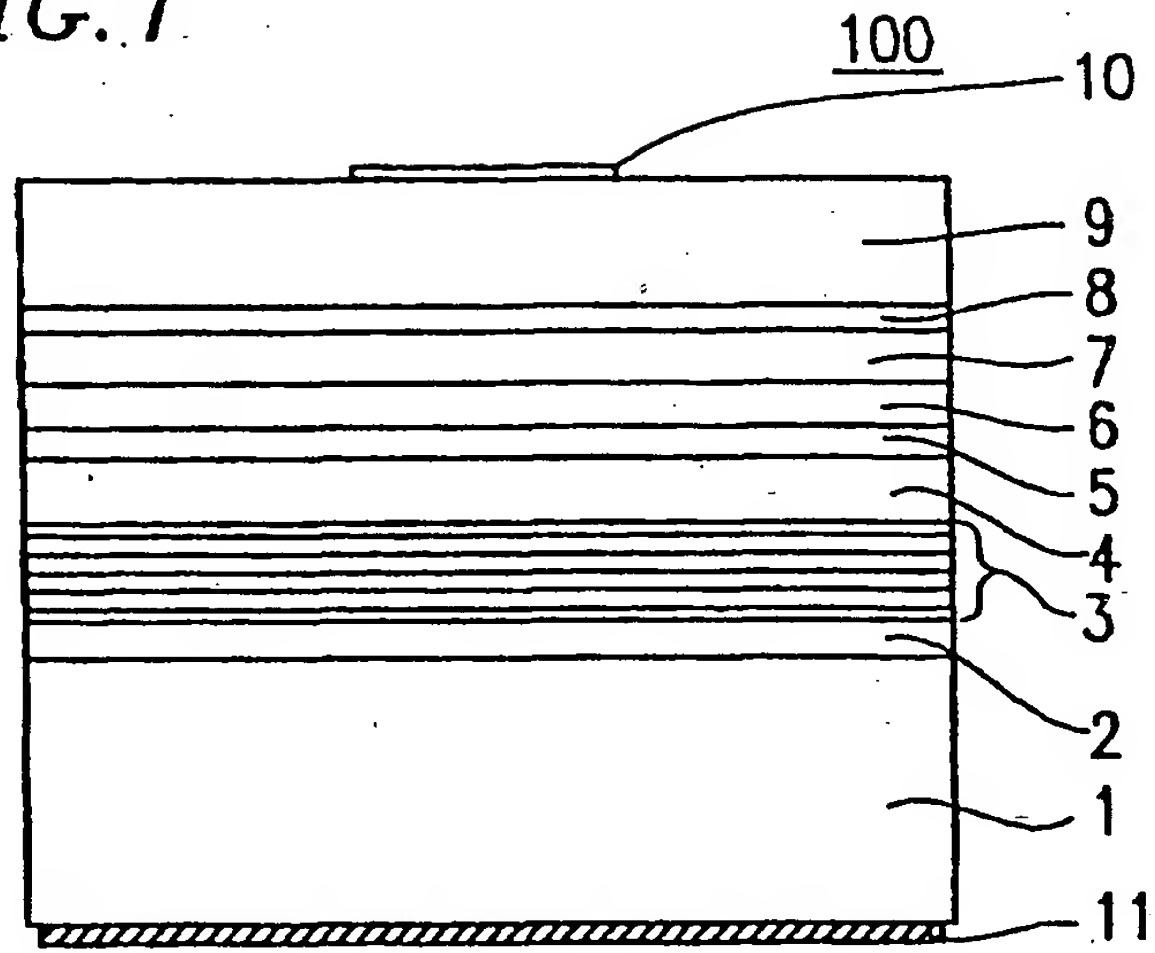




FIG. 2A

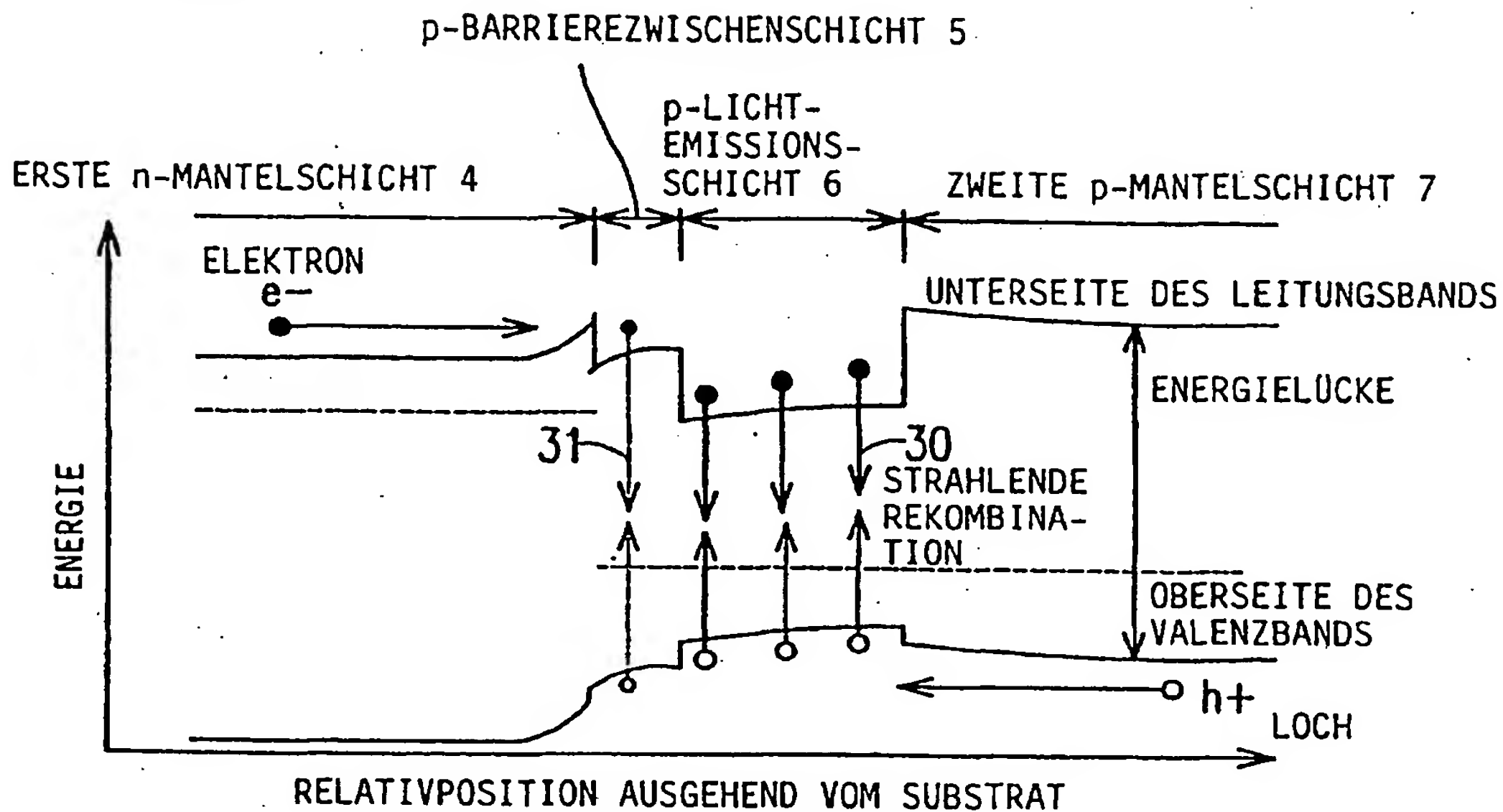
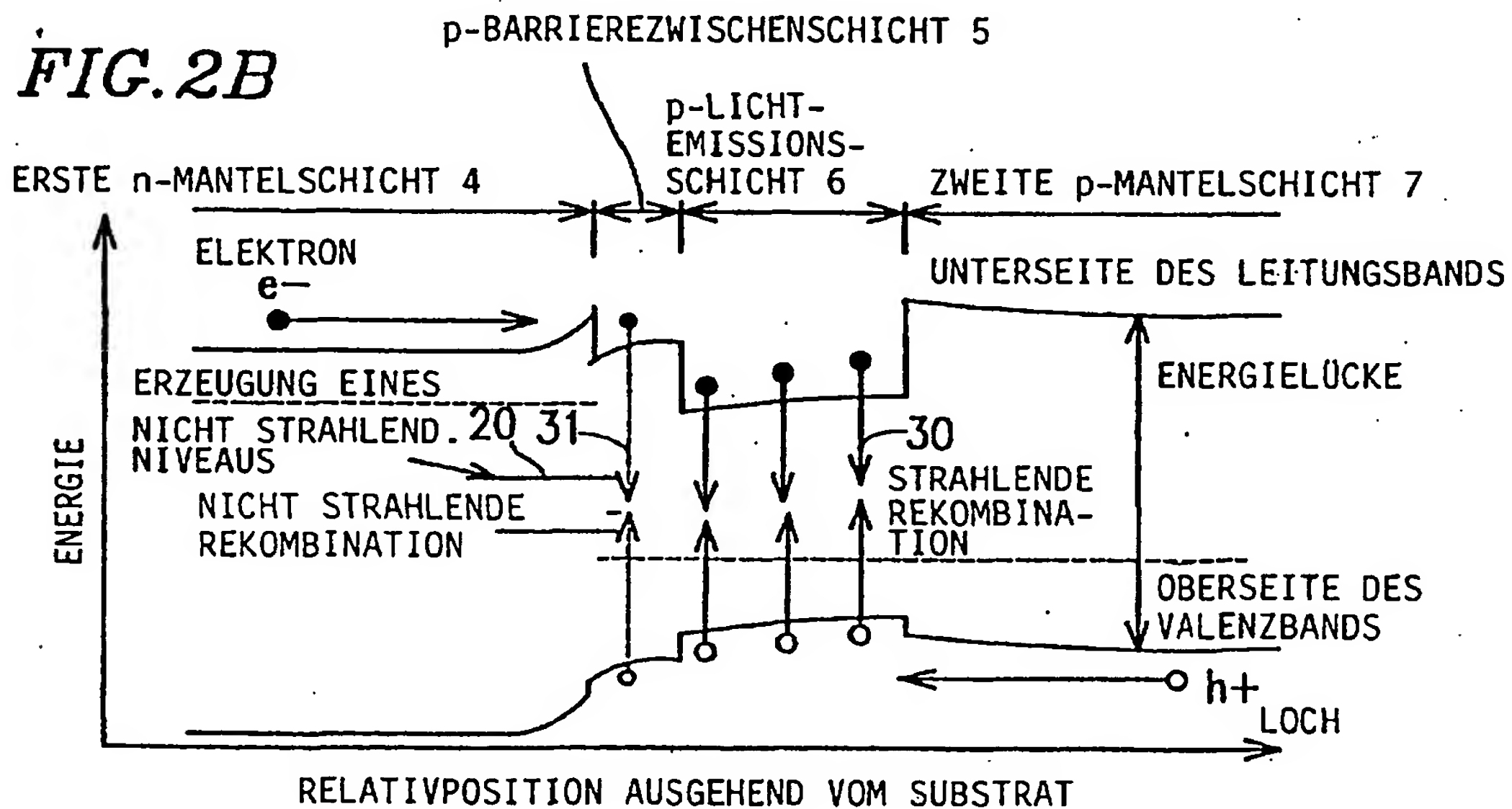


FIG. 2B



**FIG. 3**

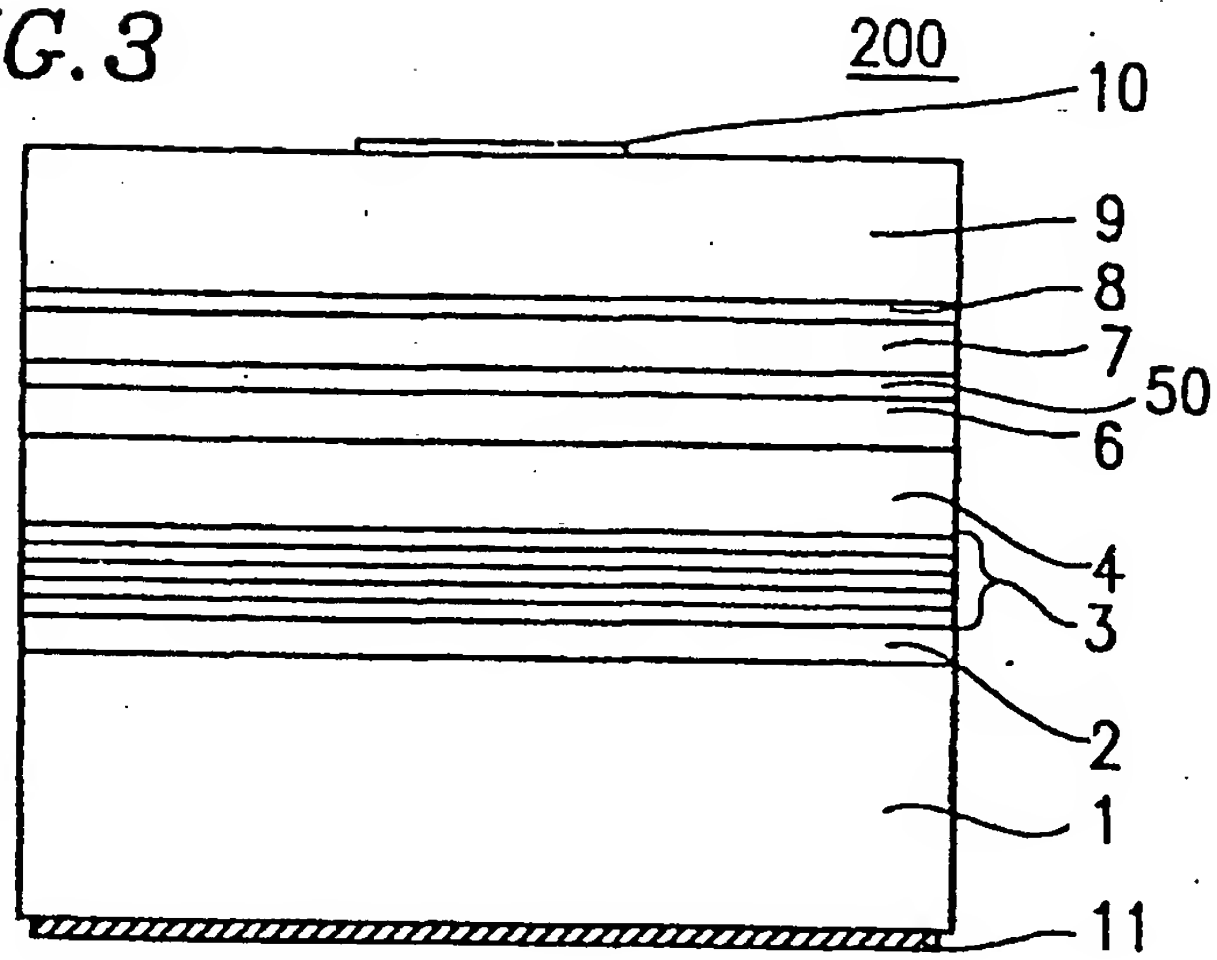
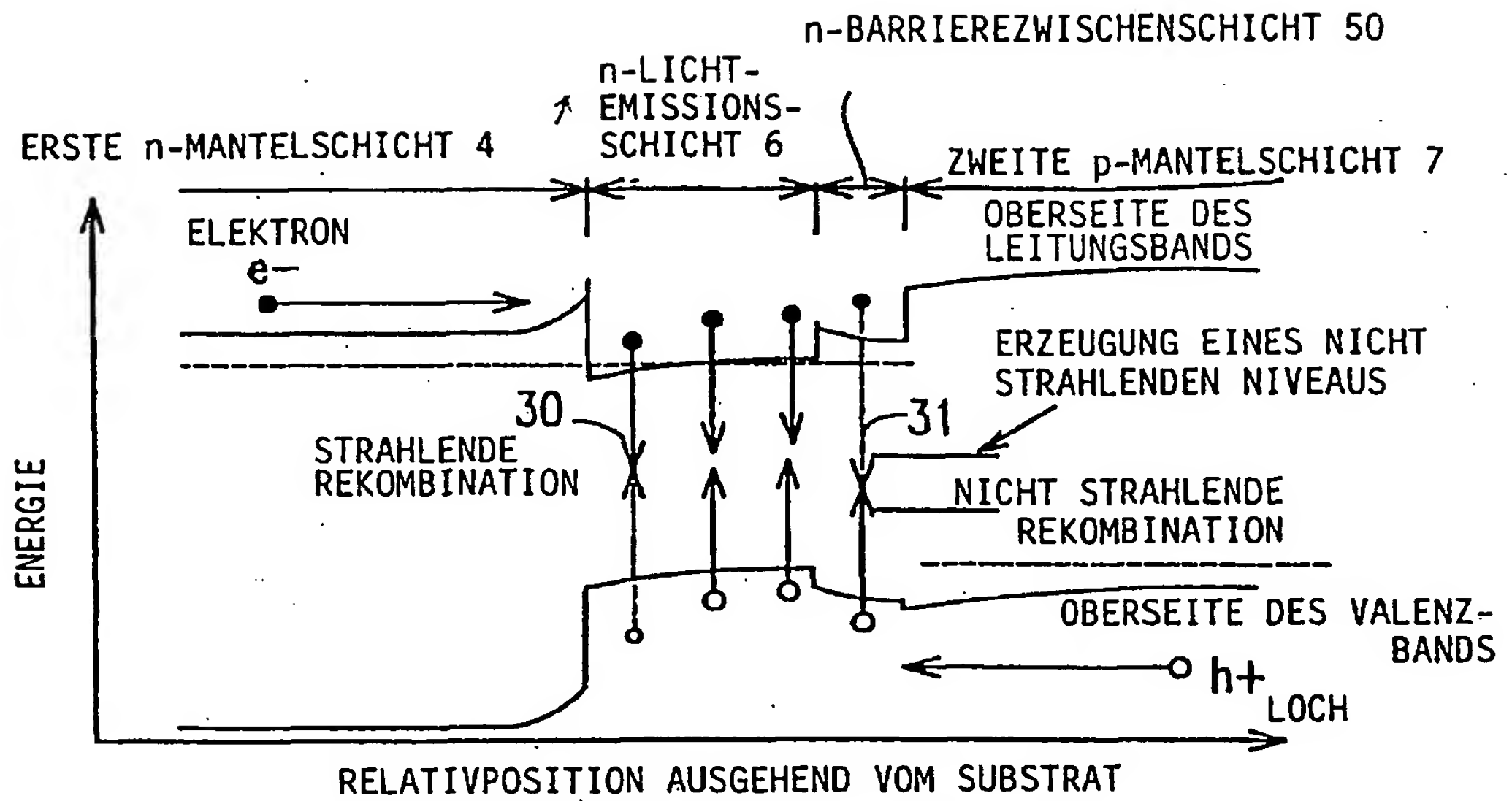


FIG. 4





*FIG. 5*

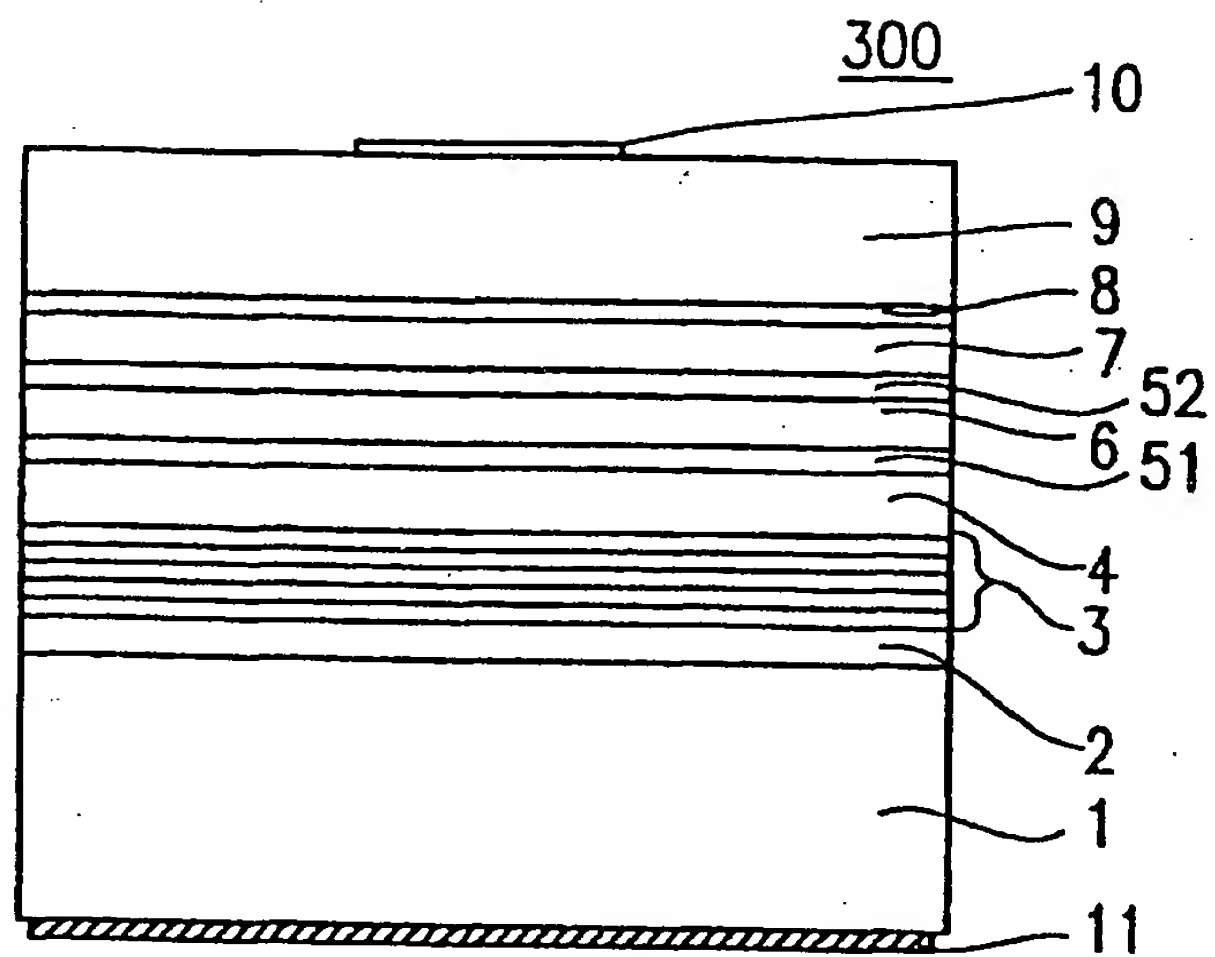
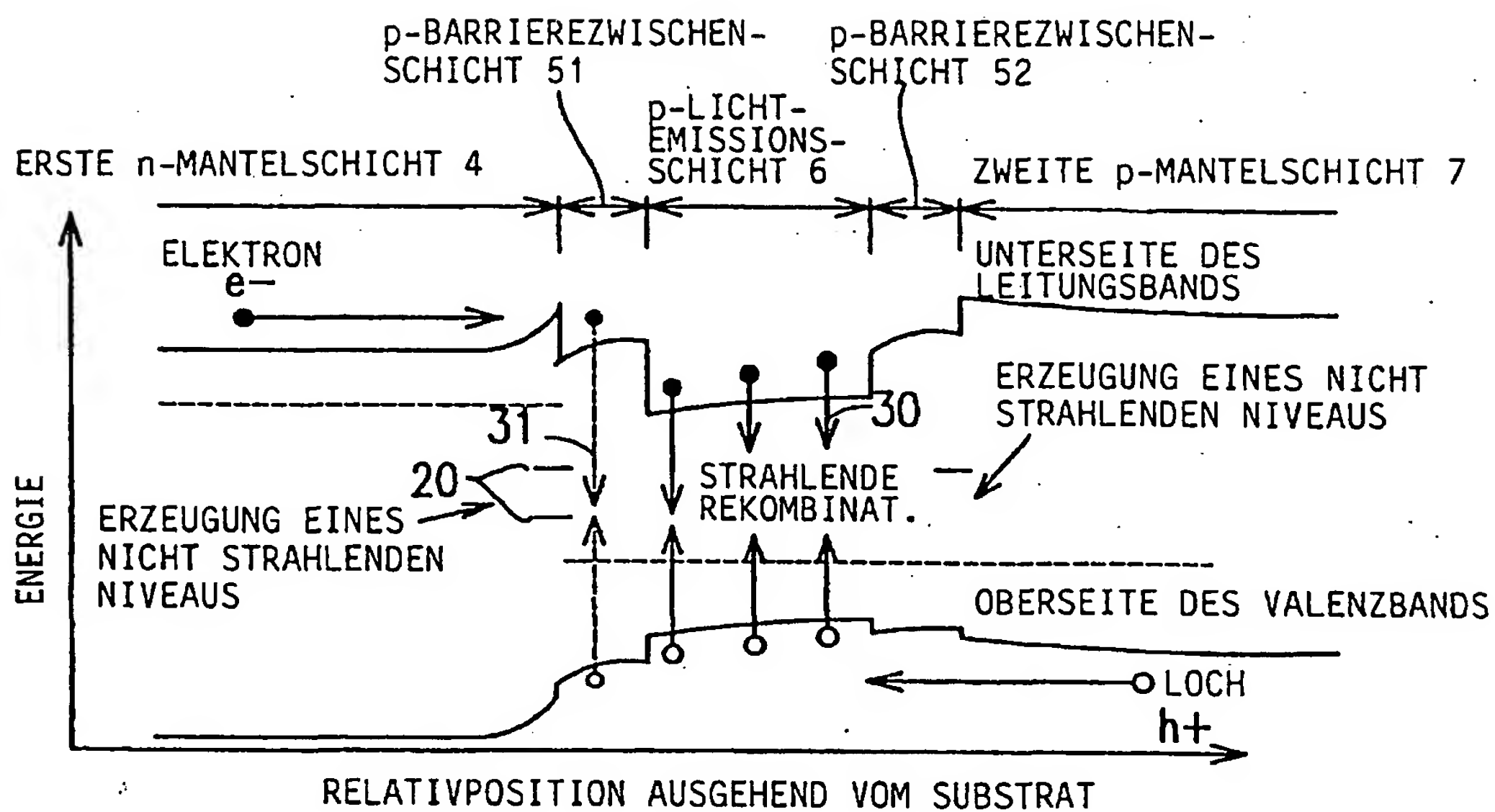
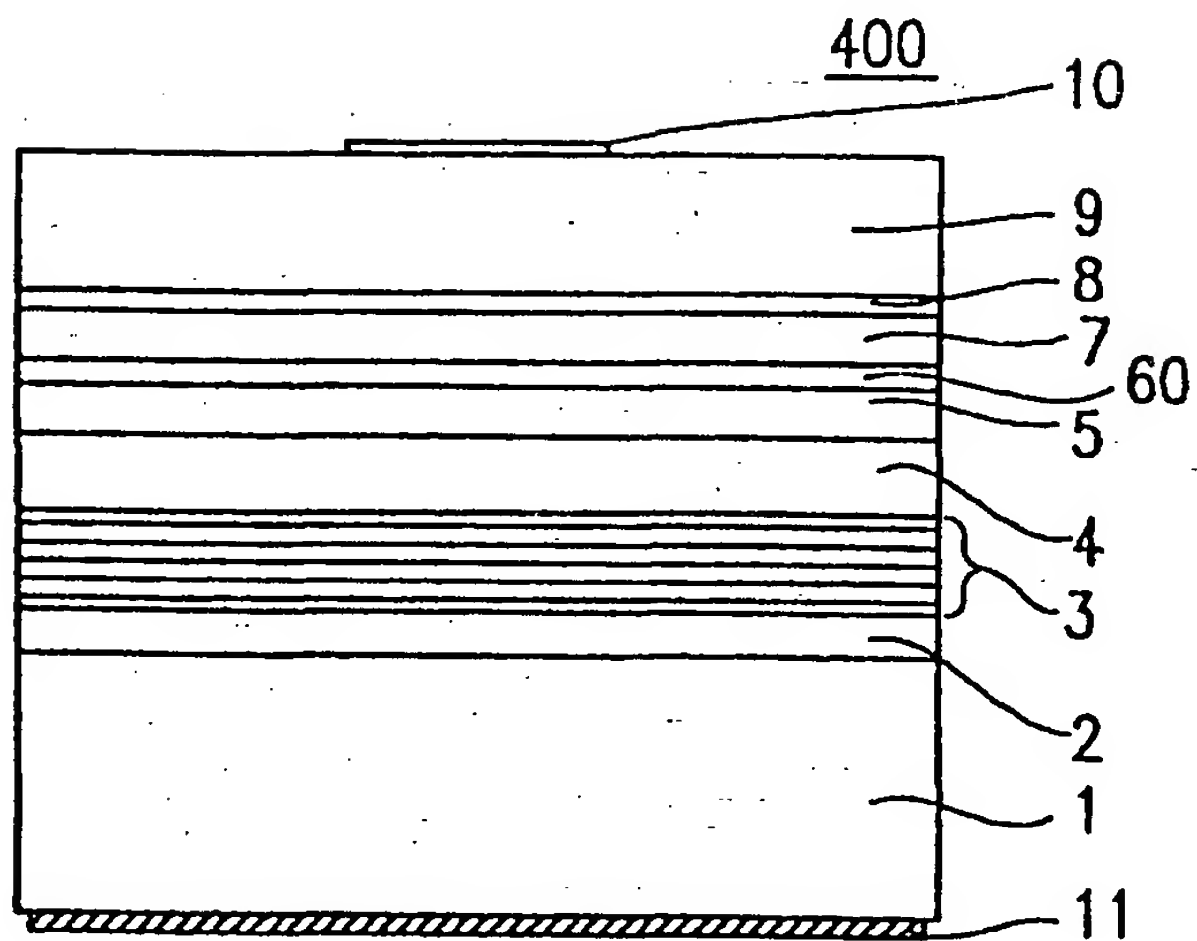


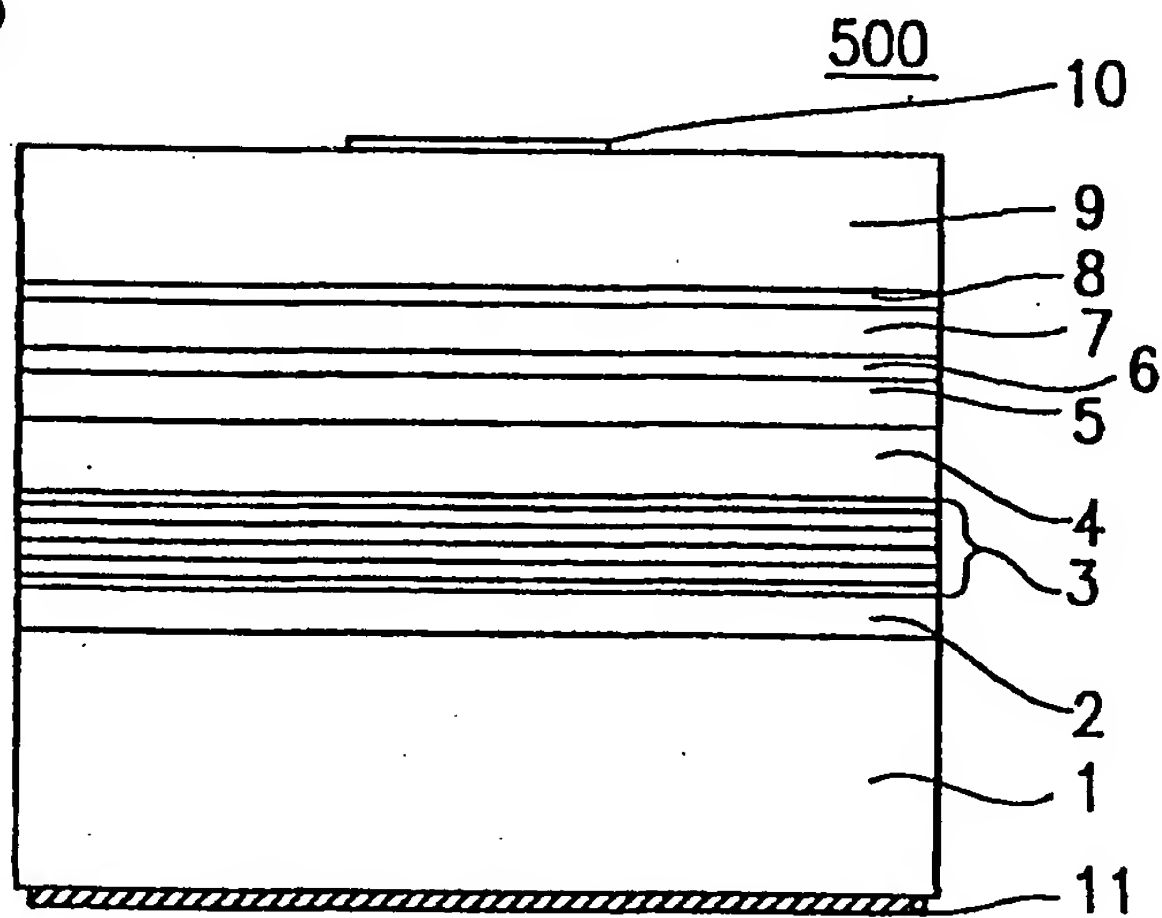
FIG. 6



**FIG. 7**



**FIG. 8**





**FIG. 9**

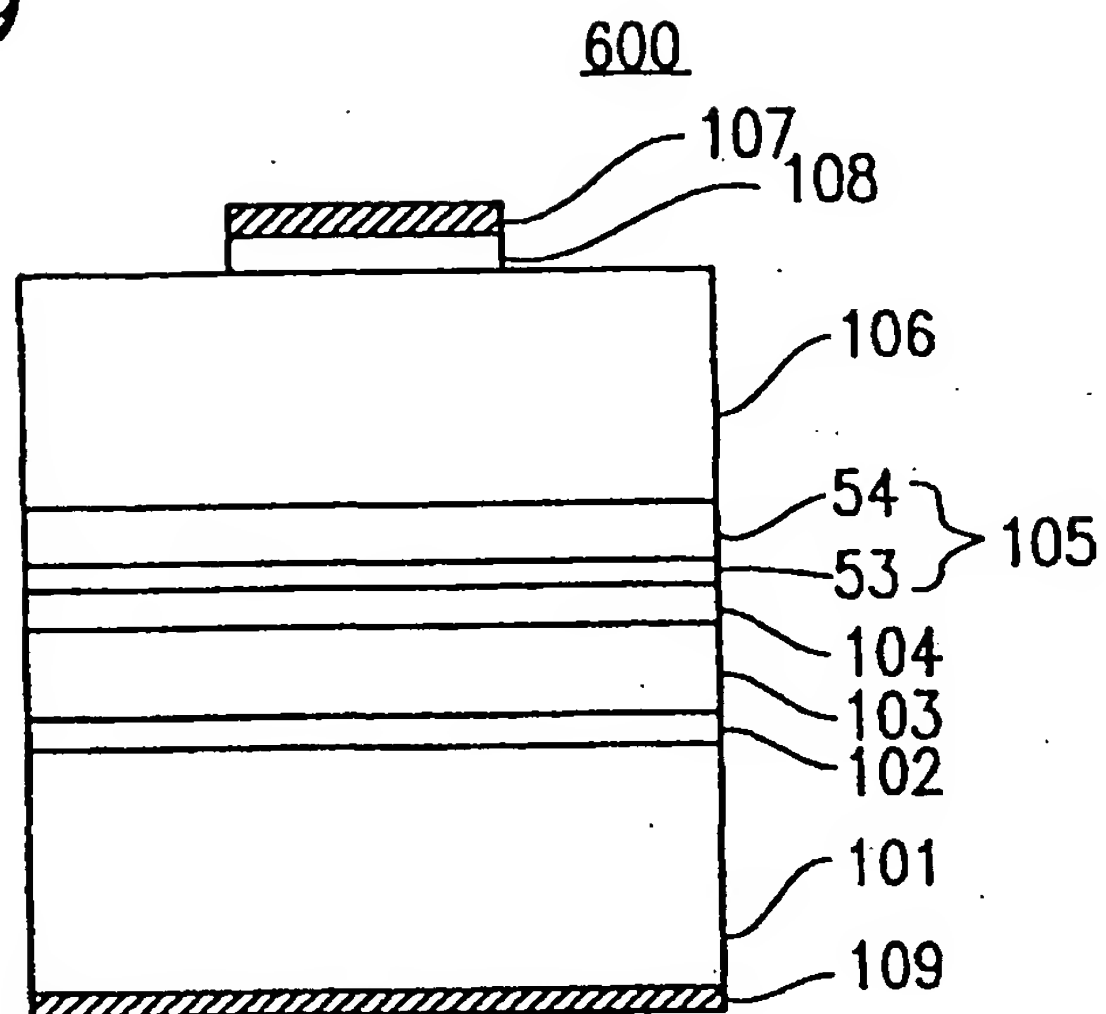


FIG. 10A

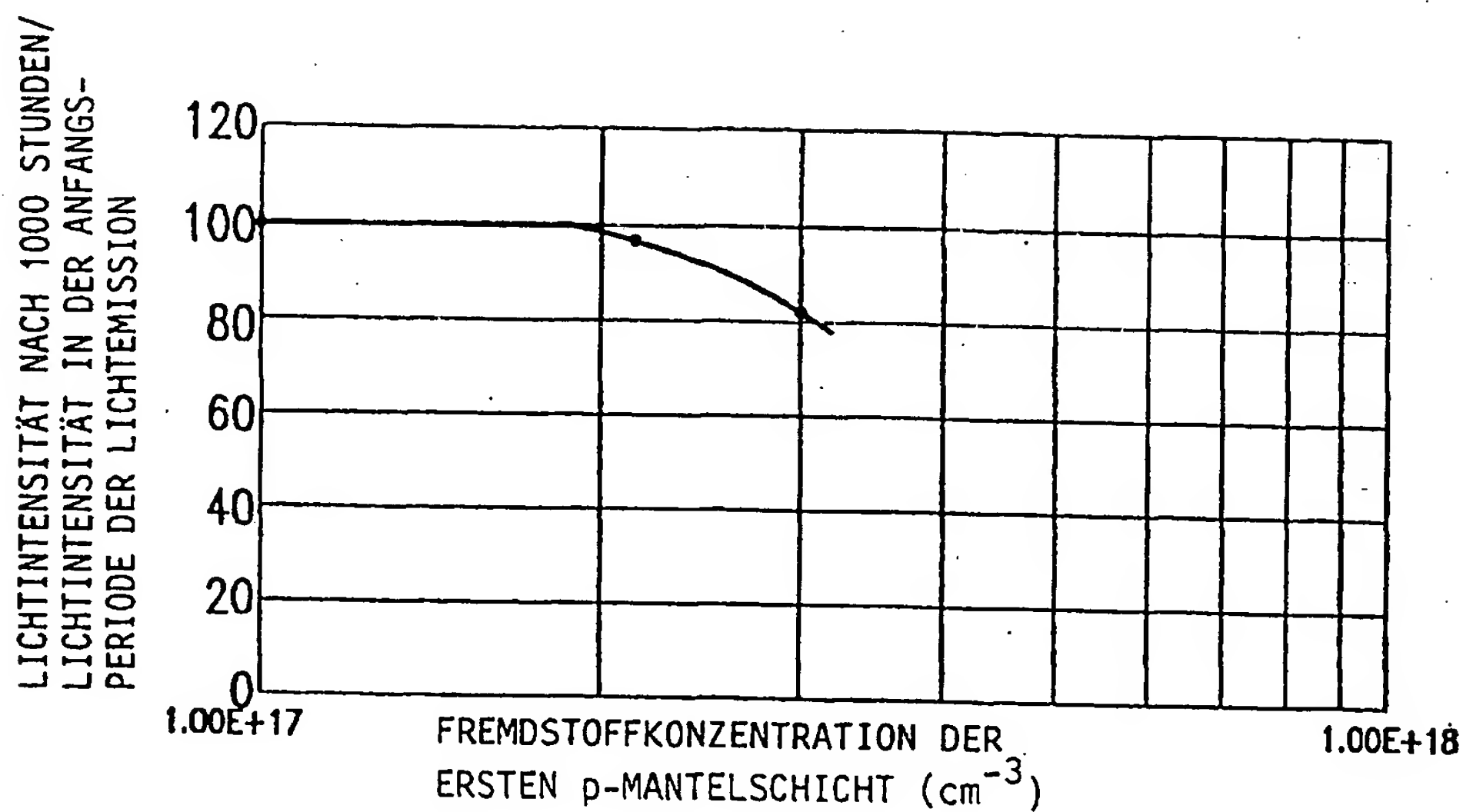
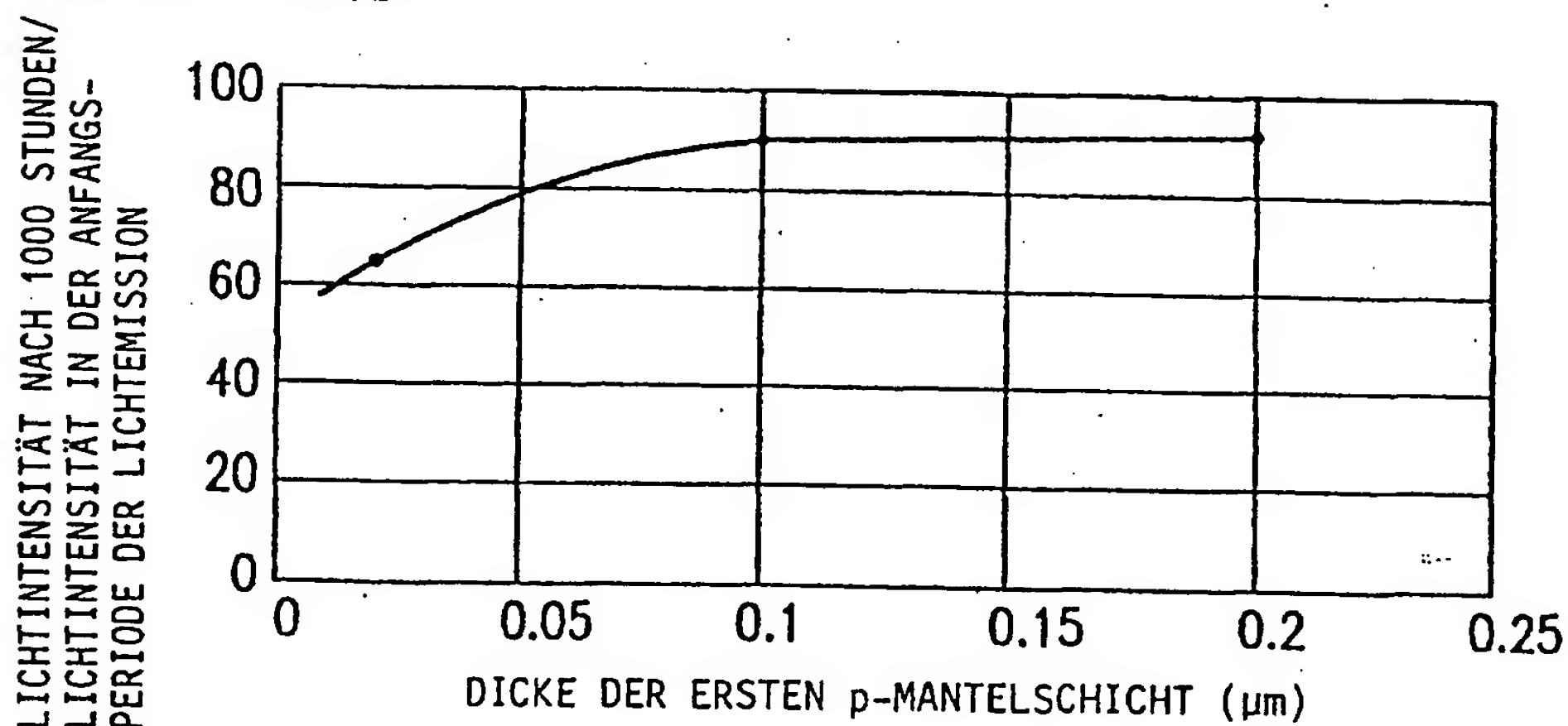


FIG. 10B



**FIG. 11**

700

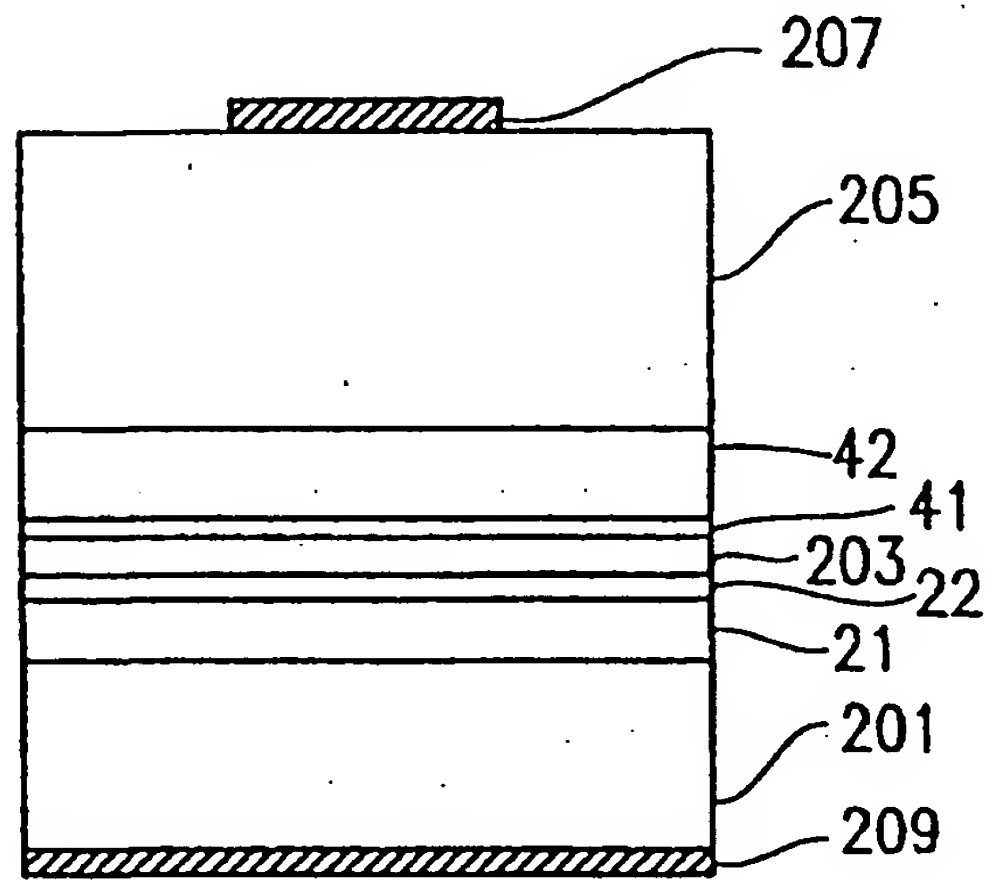


FIG. 12

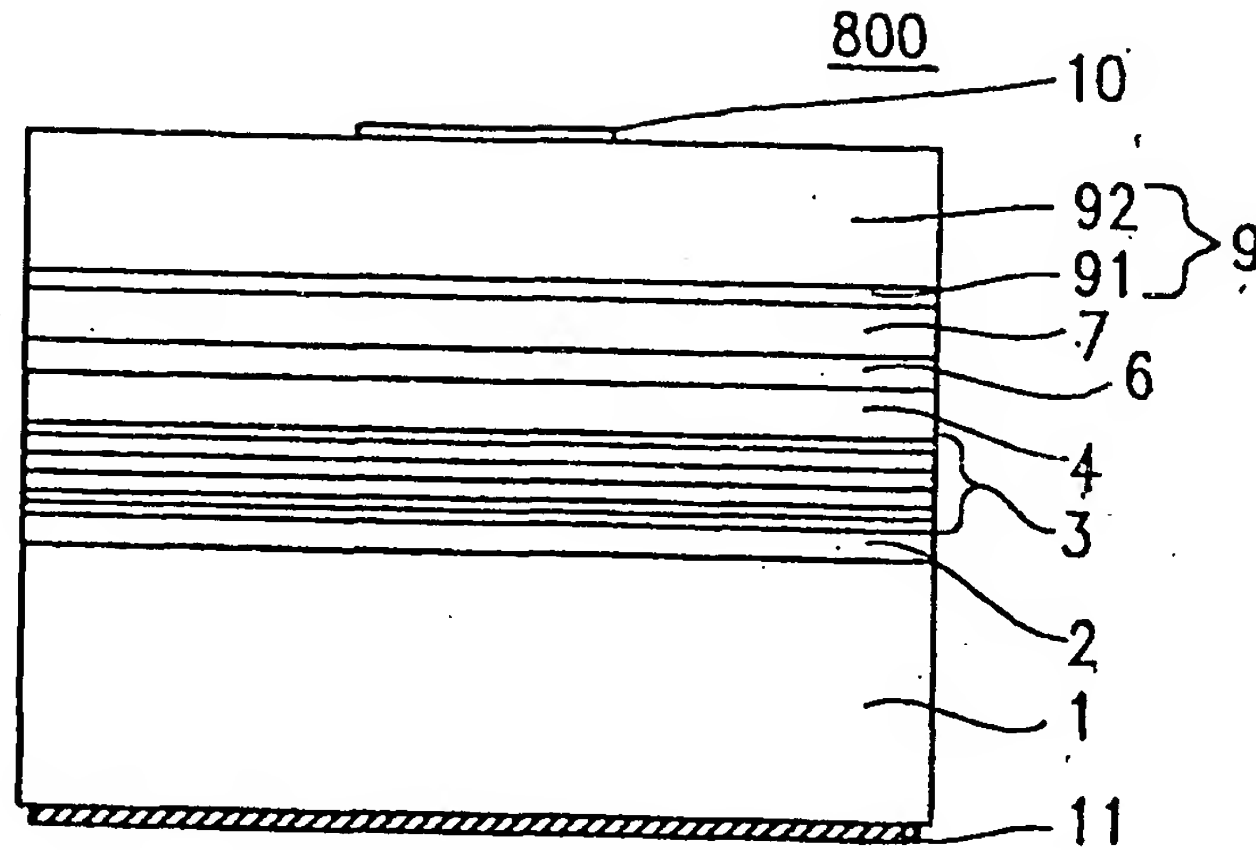
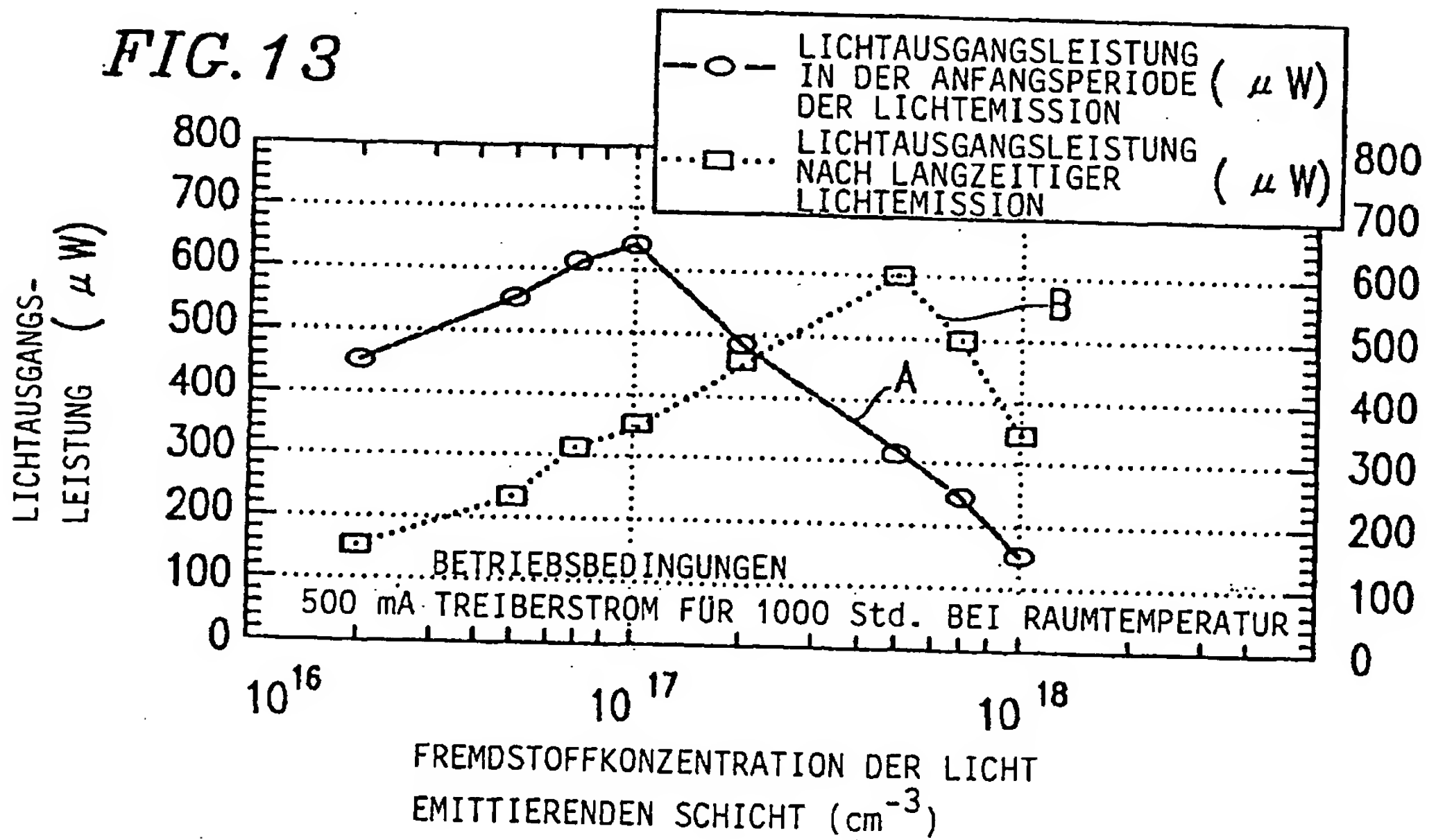
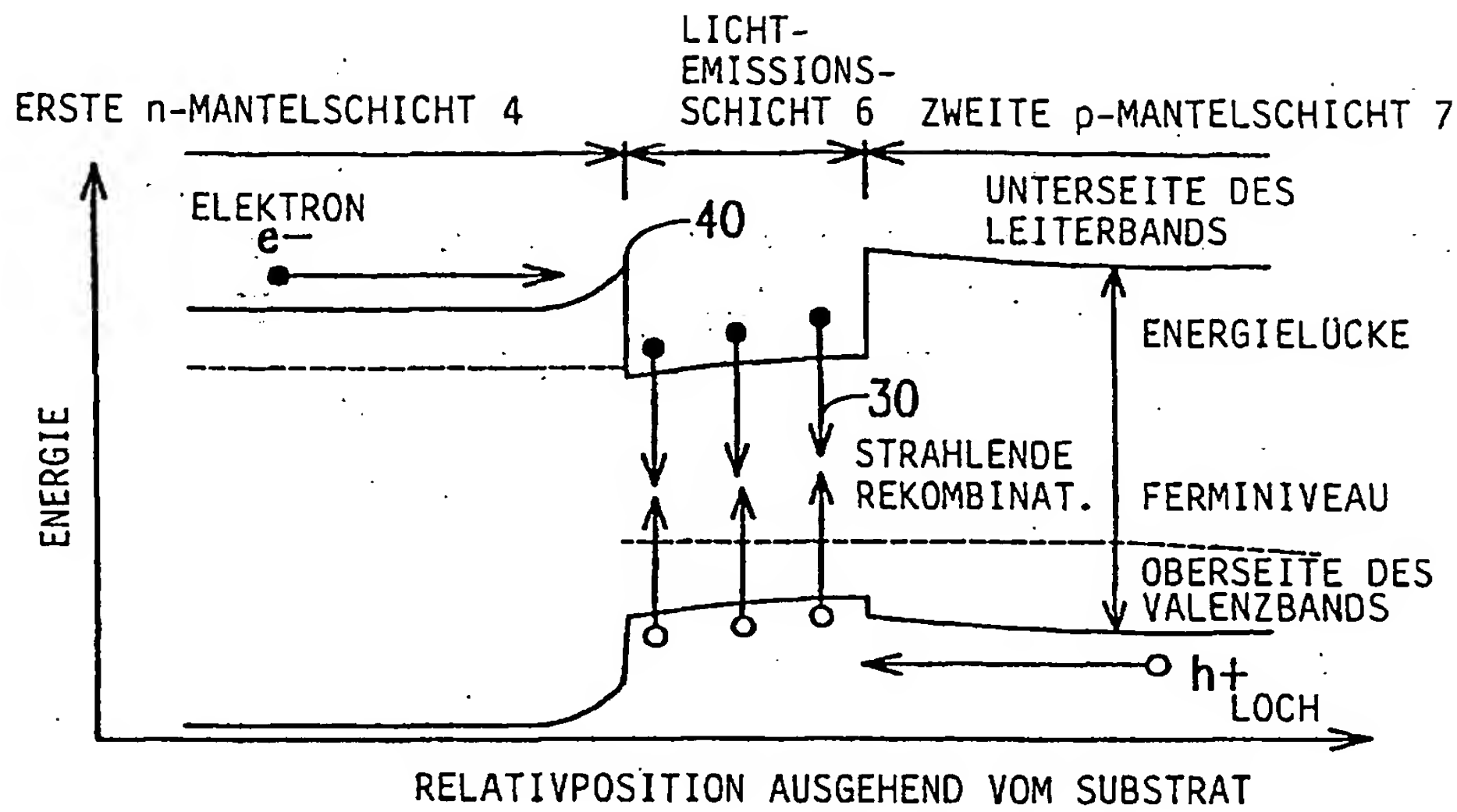


FIG. 13

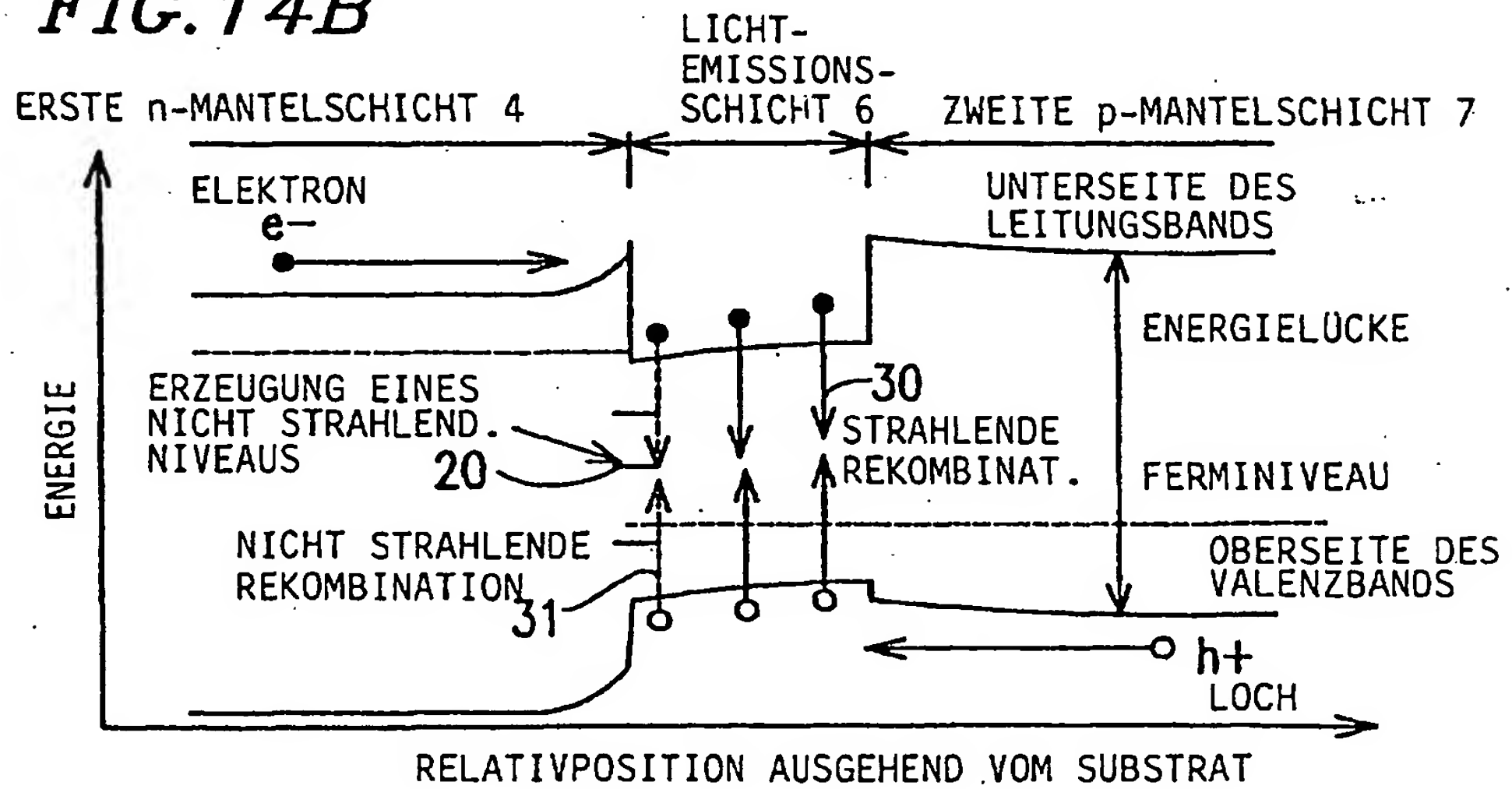




**FIG. 14A**



**FIG. 14B**



**FIG. 15**

